

开放人文

River out of Eden



[英] 理查德·道金斯 著　王直华　岳韧锋 译　钟香臣 校　Richard Dawkins

伊甸园之河

上海世纪出版集团



上架建议：科普读物
ISBN 978-7-5323-9309-1
9 787532 393091 >
定价： 18.00 元
易文网：www.ewen.cc

伊甸园之河

[英] 理查德·道金斯　著

王直华　岳韧锋　译

钟香臣　校

世纪出版集团　上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

伊甸园之河/(英)道金斯著;王直华,岳韧锋译,钟香臣校.—上海:上海科学技术出版社,2008.5
(世纪人文系列丛书)
ISBN 978-7-5323-9309-1

I. 伊… II. ①道…②王…③岳…④钟… III. 进化学说—普及读物 IV. Q111-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第017513号

责任编辑 李维靖 张跃进
装帧设计 陆智昌 朱赢椿

伊甸园之河
[英]理查德·道金斯 著
王直华 岳韧锋 译 钟香臣 校

出 版 世纪出版集团 上海科学技术出版社
(200235 上海钦州南路71号 www.ewen.cc www.sstp.cn)
发 行 上海世纪出版集团发行中心
印 刷 上海江杨印刷厂
开 本 635×965mm 1/16
印 张 9
字 数 96 000
版 次 2008年5月第1版
印 次 2008年5月第1次印刷
ISBN 978-7-5323-9309-1
定 价 18.00元

出版说明

自中西文明发生碰撞以来，百余年的中国现代文化建设即无可避免地担负起双重使命。梳理和探究西方文明的根源及脉络，已成为我们理解并提升自身要义的借镜，整理和传承中国文明的传统，更是我们实现并弘扬自身价值的根本。此二者的交汇，乃是塑造现代中国之精神品格的必由进路。世纪出版集团倾力编辑世纪人文系列丛书之宗旨亦在于此。

世纪人文系列丛书包涵“世纪文库”、“世纪前沿”、“袖珍经典”、“大学经典”及“开放人文”五个界面，各成系列，相得益彰。

“厘清西方思想脉络，更新中国学术传统”，为“世纪文库”之编辑指针。文库分为中西两大书系。中学书系由清末民初开始，全面整理中国近现代以来的学术著作，以期为今人反思现代中国的社会和精神处境铺建思考的进阶；西学书系旨在从西方文明的整体进程出发，系统译介自古希腊罗马以降的经典文献，借此展现西方思想传统的生发流变过程，从而为我们返回现代中国之核心问题奠定坚实的文本基础。与之呼应，“世纪前沿”着重关注二战以来全球范围内学术思想的重要论题与最新进展，展示各学科领域的新近成果和当代文化思潮演化的各种向度。“袖珍经典”则以相对简约的形式，收录名家大师们在体裁和风格上独具特色的经典作品，阐幽发微，意趣兼得。

遵循现代人文教育和公民教育的理念，秉承“通达民情，化育人心”的中国传统教育精神，“大学经典”依据中西文明传统的知识谱系及其价值内涵，将人类历史上具有人文内涵的经典作品编辑成为大学教育的基础读本，应时代所需，顺时势所趋，为塑造现代中国人的人文素养、公民意识和国家精神倾力尽心。“开放人文”旨在提供全景式的人文阅读平台，从文学、历史、艺术、科学等多个面向调动读者的阅读愉悦，寓学于乐，寓乐于心，为广大读者陶冶心性，培植情操。

“大学之道，在明明德，在新民，在止于至善”（《大学》）。温古知今，止于至善，是人类得以理解生命价值的人文情怀，亦是文明得以传承和发展的精神契机。欲实现中华民族的伟大复兴，必先培育中华民族的文化精神；由此，我们深知现代中国出版人的职责所在，以我之不懈努力，做一代又一代中国人的文化脊梁。

上海世纪出版集团
世纪人文系列丛书编辑委员会
2005年1月

前　　言

大自然，

看上去

是个通俗的名字。

在它的名下，

数十亿

数十亿

数十亿粒子，

数百万

数百万

数百万次，

玩着

它们的

无尽的游戏。

皮特 · 海因(Piet Hein)

皮特·海因的这首短诗记述了传统的早期物理世界。但是当跳跃的原子小球偶然撞到一起时，组成了一种具有某种单纯特性的物体，重大的事件在宇宙中发生了。这种单纯的特性，是指这种物体的自我复制能力，即：这些物体能够利用周围的物质，把自己再一模一样地“拷贝”出来，在这个过程中偶尔也会出现有某些小缺点的“复制品”。在这次发生于宇宙某处的独一无二的事件之后，随之而来的便是“达尔文的自然选择”，于是，在我们这个星球上出现了一幕奇特华丽的表演，我们把它称为“生命”。如此众多的事实，被如此少量的假设所解释，这种情形从未有过。达尔文学说不仅仅掌握了绰绰有余的解释能力。生命自我复制所遵循的法理简洁有力，具有诗一般的美感。这种美感甚至超越了最使人难以忘怀的关于世界起源的神话。我写这本书的目的之一，就是要对达尔文生命论的鼓舞力给予充分的承认。线粒体夏娃比神话传说中的夏娃更富有诗意。

生命的特征，用大卫·休谟(David Hume)的话来说，“最使曾经充满期望的人们着迷般地赞赏它”的是由一些元件组成的、能够完成某种明确意向的结构。达尔文称这种结构为“极端完善和复杂的器官”。地球生命的另一个特征，也给我们留下深刻的印象，那就是它们丰富的多样性。就估计的物种数量而言，创造生命的方式就有几千万种。我写此书的另一目的，就是让读者理解，所谓“创造生命的方式”这种说法，与“向后世传递DNA编码文本的方式”是同义语。我所说的“河”，是DNA之河，它流经地质时代并出现分流，那陡峭的河岸控制着每个物种的遗传游戏。“DNA之河”的比喻是一种有效的解释问题的方法，它有令人惊异的说服力。

从某种意义上来说，我所写的书都致力于阐述和探索具有无限威

力的达尔文进化论原理。只要有足够的时间，让原始的自我复制的结果呈现出来，达尔文主义的威力随时随地都会释放出来。《伊甸园之河》继续执行这一使命，并从宇宙的高度，讲述简单的原子撞击游戏中发生复制现象之后，接着发生的故事。

在本书的写作过程中，我有幸得到各方面人士的支持、鼓励和建议，以及建设性的批评，他们是：迈克尔·伯基特(Michael Birkett)、约翰·布罗克曼(John Brockman)、史蒂夫·戴维斯(Steve Davies)、丹尼尔·丹尼特(Daniel Dennett)、约翰·克雷布斯(John Krebs)、萨拉·利平科特(Sara Lippincott)、杰里·莱昂斯(Jerry Lyons)，特别是我的妻子拉拉·沃尔德(Lalla Ward)。本书中有一些段落曾在别处发表过，在这里引用时又做了加工。第一章中关于数字计算机和模拟计算机代码的那些叙述，摘自我发表于《观察家》(The Spectator，1994 年 6 月 11 日)的一篇文章。第三章中记述了丹·尼尔森(Dan Nilsson)和苏珊娜·佩尔格(Susanne Pelger)关于眼睛进化的研究，部分取材于我撰写的“新闻与展望”[《自然》杂志(Nature)，1994 年 4 月 21 日]一文。我要感谢这两本刊物的编者允许我引用上述文章。

目录

1　前言

1　第一章　数字之河

24　第二章　非洲人和她的后代

46　第三章　暗中为善

74　第四章　上帝的实用功能

106　第五章　生命的复制大爆炸

第一章　数字之河

任何民族，都有关于他们部落列祖列宗的英雄传说。这些传说，往往形成他们的宗教崇拜。人们敬畏甚至崇拜自己的祖先，因为正是他们的祖先，而不是那些超自然的神灵，掌握着揭示生命奥秘的钥匙。生命诞生后，大多数在长成之前就死了；能达到成年并繁殖后代的只是少数；能够繁殖千代的，更是极少数。这少数中的极少数，是元祖中的精华，他们才是以后世世代代后人的真正祖先。祖先虽少，后代众多。

现今所有活着的生物体，包括每一种动物和植物，所有的细菌和真菌，各种爬行类动物，还有本书的读者，都能回顾自己的祖先并骄傲地宣称：在我们的祖先中，没有一个是幼年夭折的。他们都活到了成年，每位找到了至少一个异性伙伴并交配成功*。我们的祖先，

* 严格地讲，例外的情况是存在的。有些动物，比如蚜虫，是无性繁殖。现在，采用人工授精之类的技术，人类不经交媾就可以有孩子，甚至，鉴于体外繁殖的卵子可以从女性胎儿体内取得，人类不等发育成熟即可生育。但就论题而言，我的观点的说服力并未减弱——原注

没有一个在有了至少一个孩子之前就死于敌手，或死于病毒侵染，或死于失足坠崖。我们祖先成千上万的同龄人，有很多就是由于这些原因而不幸殒命。然而，我们的每个祖先都逃脱了这种厄运。上面的陈述是再明白不过的了，然而还远不止这些。还有很多事既难以理解又出人意料，或者既清楚明了又让人惊异。所有这些都是本书将要讨论的内容。

所有生物体的基因，都是从它们祖先那里继承的，而不是从列祖列宗那些失败的同代人那里遗传的。因此，所有的生物都有一种倾向，那就是拥有成功的基因。它们具备能够使它们自己成为祖先的那些东西，即生存能力和繁殖能力。这就是为什么生物都自然地会继承这样的基因，这些基因倾向于建造一个设计良好的机器——一个积极工作的机体，仿佛是在努力使自己成为一个祖先。这也正是为什么鸟儿那么善于飞翔，鱼儿那么善于游水，猴子那么善于攀缘，而病毒又是那么善于传播。这也正是为什么我们热爱生命，热爱性事，热爱孩子。这是因为我们所有的人无一例外地从延绵不断的成功祖先们那里继承了我们全部的基因。这个世界到处都有生物，而这些生物都具有那些能够使它们成为祖宗的东西。一句话，这就是达尔文的进化论。当然，达尔文的进化论远不止这些；而且，现在我们能说的就更多，这也就是为什么我们读的这本书没有到此止笔的原因。

这里，很自然会出现对上面这段话的误解，这是极有害的。它会使人认为，由于祖先们做了成功的事情，便产生了一种结果：它们传给它们孩子的基因，比它们从上一代那里继承的基因有了提高。有关它们成功的某种东西留在了基因中，这正是它们的后代所以善飞翔、善游水和善于求爱的原因。错了，大错特错了！基因不会在使

用过程中得到改善，除非出现非常少见的偶然错误，它们只是被按原样传下去。并非成功产生了好的基因，是好的基因创造了成功。任何个体在它一生中所做的一切，都不会对基因产生任何影响。那些生下来就具有好基因的个体，最有可能成长为成功的祖先，因此，与不良基因相比，好的基因更有可能传至后世。每一代就是一个过滤器、一个筛网：好的基因能够穿过筛网到达下一世代；不良基因则由于个体幼年夭折，或者没有后代而终止。或许，不良基因有幸与好的基因同在一个身体之内，它们也可能通过一两代的筛选。然而，要一个接着一个地通过1 000个筛网，就不仅要有运气了。通过1 000个世代的逐次筛选之后，那些让生物体能经受筛选的基因，很可能就是好基因了。

我曾说过，那些经历一个接一个世代存活下来的基因，应该是曾成功地产生了祖先的基因。这话不错，然而也有明显的例外，需要在这里加以说明，以免造成误解。有些个体从本能上就不会生育，但它们似乎生来就是为了帮助把它们的基因传给下一代。工蚁、工蜂、白蚁中的工白蚁和黄蜂中的工黄蜂，都是不能生育的。它们辛勤劳动不是为了成为祖先，而是为了使它们有繁殖能力的亲属(通常是它们的姐妹和兄弟)成为祖先。这里有两点需要弄明白。第一，在任何一种动物中，姐妹兄弟共有相同基因的概率是很高的；第二，是外部环境，而不是基因，决定了一只白蚁是变成能生殖的白蚁，还是变成不能生殖的工白蚁。所有的白蚁，都带有这样一些基因，它们在某些环境条件下能使白蚁成为不能生殖的工白蚁；而在另外一些条件下变为有生殖力的白蚁。能生殖的白蚁把一些基因一代代传下去，这些基因能使得工白蚁帮助它们繁殖后代。工白蚁在基因的作用下辛勤工作，而这些基因的副本则存在于会生殖的白蚁体内。工

白蚁这些基因拷贝竭尽全力帮助有生殖力的拷贝通过世世代代的筛选。工白蚁既可能是雄性的，又可能是雌性的；但在蚂蚁、蜜蜂和黄蜂中，做工的都是雌性。除此之外，原理上都是相同的。从广义上说，这种情况也表现在若干种鸟类、哺乳动物和其他动物中，它们中的兄长或姐姐在一定程度上抚育弟弟或妹妹。总而言之，基因取得穿过筛网的通行证，不仅靠那些自身将要成为祖先的个体，而且也靠着那些有亲属将成为祖先的个体的助力。

本书标题所说的河，指的是一条 DNA 之河，它是在时间中流淌，而不是在空间流淌。它是一条信息之河，而不是骨肉之河。在这条河中流淌的，是用于建造躯体的抽象指令，而不是实在的躯体本身。这些信息通过一个个躯体，并对其施加影响；然而信息在通过这些躯体的过程中却不受躯体的影响。这条河流经一连串的躯体，不仅不会受这些躯体的经历与成就的影响，而且也不受一个潜在的、从表面上看，更具威力的“污染源”的影响，那就是：性。

在你的每一个细胞中，都有一半基因来自你母亲，另一半基因来自你父亲，这两部分基因肩并肩地相依相伴。来自你母亲的基因与来自你父亲的基因最紧密地结合在一起，创造了你——他们的基因的不可分割的精妙混合体。但是来自双亲的基因本身并不融合，仅仅是发挥它们各自的作用，基因本身都具有坚实的完整性。进入下一代的时刻到来了，一个基因或者进入这个孩子的体内，或者不参与这样的行动。父亲的基因不会与母亲的基因混合，它们独立地完成重组。你身体内的一个基因，或者来自你的母亲，或者来自你的父亲。这个基因来自你的 4 位祖辈之一，而且仅仅来自他们中的某一位；进一步推论，这个基因来自你的 8 位曾祖辈之一，而且仅仅来自他们之中的某一位。依此规律，可以追溯到更远的世代。

我们谈到了一条基因之河，但是，同样我们可以说它们是通过地质年代行进的一队好伙伴。从长远的观点来看，繁殖种群的所有基因互相都是伙伴。从短期来说，这些基因存在于个体之内，而且与同享一个躯体的其他基因成为“临时的”比较密切的伙伴。只有基因善于组建个体，而这些个体又能在该物种所选择的特定生活方式下，很好地生存和繁殖，这些基因才能代代相传。为了能很好地活下去，一个基因必须与同一物种(同一条河中)的其他基因良好合作。为了能长久地生存下去，一个基因必须是一个好伙伴。这个基因作为同一河流中其他基因的伴侣，或者在其他基因的背景下，它必须做得很好。其他物种的基因是在另外的河流之中。不同物种的基因不会在同一个体中共存，因此，从某种意义上来说，它们不必相处得很好。

作为一个物种，其特征是：任何一个物种的所有成员流过的基因之河都是相同的，而同一物种的所有基因都必须做好准备，相互成为良好的伙伴。当一个现有物种一分为二的时候，一个新的物种就诞生了。基因之河总是适时分出支流。从基因的角度来说，物种形成(即新物种的起源)便是“永别”。经历一个短期的不完全的分离之后，这支流与主流不是永远分道扬镳，就是其中之一或双方都趋向干涸、消失。两条河在各自的河道之内是“安全”的，通过性的重组，河水互相混合、再混合。但是，一河之水永远不会漫过自己的河岸，去污染另一条河流。一个物种分裂为两个物种之后，两套基因就不再互为伙伴了。它们不会再在同一个躯体中相遇，因此也就无从要求它们和睦相处。它们之间不再有任何交往。这里所说“交往”的字义是指两套基因各自的暂时载体——个体之间的性交。

为什么会发生物种分裂？是什么因素导致两套基因的永别？又

是什么原因使得一条河流分成两条支流，并且互相疏远以至永不汇合？尽管在细节上尚有争论，但没有人怀疑这一观点，即，最主要的原因是由于偶然发生的地理上的分离。虽然基因之河是在时间中流淌，然而基因的重新配对，却是发生在实在的个体之内，而这些个体都在空间中占有一定位置。如果北美灰松鼠与英国灰松鼠相遇，它们是有可能交配并繁殖的。但是，它们不大可能相遇。北美灰松鼠的基因之河与英国灰松鼠的基因之河实际上被 4 800 千米宽的海洋隔开了。尽管人们认为，一旦有机会，这两支基因队伍仍然能够成为好伙伴，但事实上它们已经不再互为伙伴了。它们已经互道珍重，当然这还不是一次不可逆转的永别。但是如果照这样再分离数千年，这两条河就会漂离得非常远，以至如果这两种灰松鼠相遇的话，它们将不能再交换基因了。这里的“漂离”两字，说的不是空间上的分离，而是指它们已不能相容。

类似这样的事情，肯定也发生在以前灰松鼠和红松鼠分离之后。这两种松鼠已经不能杂交了。虽然在欧洲的有些地区它们同时存在，而且经常相遇，还在一起争夺坚果，它们已不能再交配产生具有繁殖能力的后代了。这两种松鼠的基因之河流得相距太远了，以致它们的基因在同一躯体中已不再能够互相合作了。许许多多世代以前，灰松鼠的祖先与红松鼠的祖先原本是相同的个体。但是，后来它们在地理上被分隔开了——把它们分开的，或许是山，或许是水，而最终是大西洋。于是灰松鼠的一套基因与红松鼠的一套基因分道而行。地理上的隔离导致它们在生育上缺乏适应性。好伴侣变成了坏伴侣。或者，如果做一个让它们交配的试验，它们将表现出不是好伙伴。坏伙伴会越变越坏，直至现在，它们干脆就不再互为伴侣了。它们之间的分离是永别，两条基因之河分开了，而且注定越离

越远。在很久很久以前，我们人类祖先和大象祖先之间也曾发生过同样的事情。或者，鸵鸟的祖先(它也是人类的祖先之一)和蝎子祖先之间，也发生过这种事情。

现在，DNA之河或许已经有了近3 000万条支流。所以这样说，是因为据估计现在地球上大约存在着这么多个物种。而且，还有一种估计，现存物种的总数，只不过是地球上曾经存在的物种总数的1%。由此可以得出，地球上总共曾经存在过30亿条DNA河的支流。今日的3 000万条支流之间，已经发生了不可逆转的分离。它们中的大多数将最终消失得无影无踪，因为大多数物种终将消亡。如果你沿着这3 000万条河流(为了简洁明了起见，我用“河流”这个词代替“河流的支流”)溯本求源，就会发现它们都曾一个接一个地与其他河流互相汇合。大约在700万年前，人类的基因之河与黑猩猩的基因之河是合在一起的，而几乎在同时，大猩猩的基因之河与黑猩猩基因之河也是合在一起的。再倒退数百万年，我们所加入的非洲古猿基因之河与猩猩基因之河合流。在比这更早的年代，我们祖先的基因之河是与长臂猿的基因之河同流的(而长臂猿的基因之河顺流向下，分裂出几个不同种的长臂猿与合趾猿)。如果我们在时间坐标上再奋力回溯，曾与我们的基因之河合流的一些河流，在向前流淌的过程中又分出许多支流：欧洲猴、美洲猴，以及马达加斯加狐猴，等等。在更久远的过去，我们人类的基因之河曾经与另外一些基因之河合流，一些主要的哺乳动物种群，如啮齿动物、猫、蝙蝠、大象等，就是后来从那些基因之河分裂出来的。再往前，我们又见到另外一些基因之河，各种爬行动物、鸟类、两栖动物、鱼类、无脊椎动物，分别是从这些河流分裂出来的。

在关于基因之河的比喻中，我们必须对一个重要方面加以注意。

当我们想到所有哺乳动物的源头支流(而不是说细分至出现灰松鼠的小支流)时，头脑中便浮现出密西西比河和它的支流密苏里河这样宏伟的图像。归根结底，哺乳动物分支，是在不断地分支再分支，直至产生了所有的哺乳动物——从倭鼩鼱到大象，从掘穴而居的鼹鼠到高踞枝头的猴子，等等。人们会这样想：哺乳动物的源流必定是一条滚滚向前的巨大洪流，不然它怎能注满它的千万条重要支流呢?然而，这种联想却是大错特错了。所有现代哺乳动物的祖先从非哺乳动物分离出来，这与任何其他物种的形成相比，并不显得“声势浩大”。如果当时恰巧有一位博物学家光临，这个过程甚至不会引起他的注意。基因之河的新支流就像一条小溪，栖居着夜间活动的小生灵。这些小生灵与它们的非哺乳动物亲戚之间的差异极小，就像红松鼠与灰松鼠之间的那种关系。只是到了后来，我们才把哺乳动物的祖先当做哺乳动物看待。在最初时，它们不过是另一种貌似哺乳类的爬行动物，与其他十来种有口鼻部的小动物并无显著差别，都是恐龙的一小口美食。

所有大的动物类群，比如脊椎动物、软体动物、甲壳纲动物、昆虫、环节动物、扁虫，以及水母，等等，在早期它们的祖先分手的时候，同样也没有什么戏剧性。当软体动物(以及其他动物)始祖的基因之河，与脊椎动物(以及其他动物)始祖的基因之河刚刚分离的时候，这两群生物(可能类似蠕虫)非常相像，以至它们之间还可以交配。它们仅仅是由于偶然地被地理上的障碍所分离，才未能相遇和交配。比如，也许是干旱、陆地把原来的统一水体隔开了。没有人能猜到其中一个群体注定会生出软体动物，而另一个群体注定会生出脊椎动物。这两条DNA之河不过是刚刚勉强分开的小溪，这两种动物类群还很难区分开。

动物学家们对这些都是很明白的，但是每当他们认真注视巨大的动物类群(比如软体动物和脊椎动物)时，他们就往往忘了这些，而被诱入迷津，认为主要类群间的分离才是重要的事件。动物学家们之所以会误入歧途，是因为他们已经被教会了一种几近虔诚的信条：动物界每一个大的分界都有某种极独特的标志，德文称之为“Bauplan”(生物蓝图)。尽管这个词不过是“蓝图”的意思，然而它已经成为被认可的术语了。尽管在新版《牛津英语大辞典》中还没有这个词(我对此略感震惊)，我总要为它找到一个对应的词。从技术意义上说，Bauplan 常常被翻译为“身体的基本设计”。使用“基本”这个词招致危害，它会导致动物学家们犯严重的错误。

举例来说，一位动物学家曾经提出，在寒武纪(大约 6 亿年至 5 亿年前)，进化过程一定与晚些时候的进化过程完全不同。他的推理是这样的：现在出现的是新物种，而在寒武纪时期出现的是新的类(如软体动物和甲壳纲动物)。谬误是显然的！即使是像软体动物和甲壳纲动物这样根本不同的生物，原本也是同一物种，仅仅由于地理上的原因被分隔开来。在刚刚分开的最初一段时间里，如果它们能相遇的话，还可以互相交配并繁殖后代，但是它们没能相遇。在分别经过数百万年计的进化过程之后，它们各自获得了现有的特征。现代动物学家事后根据这些特征，把它们分别称为软体动物和甲壳纲动物。这些特征被称为“生物蓝图”。但是，动物界主要的生物蓝图是从共同的源头分岔后逐渐进化而来的。

在对究竟是如何渐变或如何突变的看法上，显然存在着小小的差异。虽然大家发表的意见很多，但差异并非特别大。还没有人(我的意思是没有一个人)认为进化会快到一步就产生出一个全新的生物蓝图。我所说的这个作者的文章发表于 1958 年。今天，极少有动物

学家明确地接受他的主张，但他们有时会含蓄地表露出来，好像动物的主要类群不是因偶然的地理上的隔离从一个祖先群体分离而成，而是自己冒出来的，而且一下子就完全形成了，就像雅典娜从宙斯的脑袋里钻出来一样。

分子生物学的研究表明，在任何情况下，大动物类群之间的接近程度，比我们通常想像的要大得多。你可以把遗传密码看作是一本词典。在这本词典里，要把一种语言的 64 个单词(4 个字母中取 3 个，共 64 种可能的三联体)标绘到另一种语言的 21 个单词(20 种氨基酸加 1 个标点符号)上。两次 64∶21 的排列完全相同的可能性极小，只有 100 万亿亿亿分之一。然而，事实上，所有迄今为止我们所见到的动物、植物和细菌，它们的遗传密码完全一样。地球上一切有生命的东西肯定都是一个祖先的后裔。没有人对此提出质疑。以昆虫和脊椎动物为例，人们在研究中发现，不仅它们的遗传密码本身，甚至遗传信息的排序也惊人地相似。一个相当复杂的遗传机制决定了昆虫的体节的分化，而在哺乳动物中也发现了不可思议的相似遗传机制。从分子角度来说，所有的动物互相之间都有相当近的亲缘关系，甚至植物也一样。你不得不到细菌中去寻找我们的远亲。即使如此，细菌的遗传密码同我们的也一样。为什么能对遗传密码做如此精确的计算，而对解剖图作同样的精细研究就不可能？原因就在于遗传密码是严格数字化的，而数字是可以精确计算的。基因之河是一条数字之河，下面我必须对这个工程术语详加解释。

工程师们给出了数码和模拟信号之间的重大区别。留声机、录音机，直到前不久还在使用的大多数电话机，都是使用模拟信号。激光唱机、计算机，以及大多数现代电话系统，都使用数码。在模拟电话系统中，由声音引起的空气压力的连续波动，被转换成电话线

中相应的电压波动。唱机的工作原理与此相似：唱片转动时，它的波状纹道引起唱针的振动，唱针的振动又被转换为相应的电压波动。在电话线的另一端，受话方电话耳机里金属薄膜在变化电流的作用下发生振动，于是受话者便能听到声音了。同样，变化的电流通过唱机的扬声器，便把唱片上记录的音乐放送出来了。这种“密码”既简单又直接：电线中电流的波动与空气压力的波动成比例。所有可能的电压，只要是在一定限度之内，都能通过电线传输，电压之间的差异是重要的。

在数字电话中，通过导线的只有2个可能的电压，或者若干个可能的离散电压值，例如8个或256个。信息并非蕴含于电压本身，而是包含在离散电平的图形中。这叫做脉冲编码调制。在任一时刻，实际电压很少能精确地等于8的整数倍(称为标称值)，但是，接收装置将抹去零头使它达到最接近的指定电压，这样，即使传输情况很差，在导线的另一端，信号仍然几近完美。你所要做的事，是使这些离散电平相差足够大，从而接收装置不致把随机波动“翻译”为错误的电平。这是数字编码的一个重大特征，这也正是为什么声像系统以及其他信息技术日益走向数字化的原因。当然，计算机早已在它们做的每一件事情中采用了数码。为了方便起见，我们采用二进制码，它只有2个电平，而不是8个或者256个电平。

即使是在数字电话中，进入送话器的声音以及耳机发出的声音，仍然是空气压力的一种模拟式的波动。从交换机到交换机之间传送的都是数字信息。人们要建立某种代码以便把模拟值一微秒一微秒地“翻译”成离散脉冲系列，即由数码表示的数值。当你在电话里恳求你的情人时，音调的每一细微差异，每一次哽咽，动情的叹息，渴望的音色，都仅仅是由数码这一种形式通过导线传送过去的。你

会被数码感动得热泪盈眶，但有一个先决条件，就是那些感人的声音被以足够快的速度编码和译码。现代电话交换机运行速度极快，可以把线路时间分成若干份，这就像一位象棋大师能够同时与20人车轮大战那样。采用这种方法，数以千计的对话可以同时在一条电话线路上进行；这些对话表面上是同时进行的，但在电子学上是分开单独进行的，互相之间没有干扰。一条数据干线，就是一条数字的大河。今天，许多数据线路已不再是导线了，而是无线电波的波束，可以从这个山顶直接发送到那一个山顶，或者由卫星进行转发。这是成千条数字之河，它们仅在表面上分享同一河道，全靠聪颖的时间分配技术才得以实现；就像红松鼠和灰松鼠，虽然生活在同一棵树上，但是它们的基因却从未混合过。

让我们再回到工程师的世界里来。模拟信号只要不被反复地复制，它的缺陷倒也无碍大事。录音磁带可能有嘶嘶声，但它很小，除非将声音放得很大，否则你也许不会注意到这嘶嘶声。然而在你将音乐放大的同时，嘶嘶声也被放大，还带进了新的噪声。但是如果你将磁带复录，复录后再复录，一次又一次地复录下去，经过100次的复录之后，磁带上留下的将只有可怕的嘶嘶声。在全模拟电话时代，这种现象就成了问题。任何电话信号经过很长的一段电话线之后都会衰减，因此必须将它们“提升”，即加以放大，比如每100千米就要放大一次。在模拟信号时代，这是一件令人头疼的事，因为每一级放大都会增加背景的嘶嘶声。数字信号也需要放大，但是，由于我们已经知道的原因，这种放大过程不会引入任何“误差”：不论需要经过多少次放大，我们都可以借助一定的装置使信号得到改善，完美地走向下一程。即使数字信号旅行成千上万千米，嘶嘶声也不会变大。

在我小时候，母亲对我说，神经细胞就是人体内的电话线。然而，它们是模拟的还是数字的？回答是：它们是这两者有趣的混合体。一个神经细胞可不像一段导线。它是一条细长的管子，一种“化学变化波”从中经过，就像炸药包的引线，在地上嗞嗞作响地燃烧着。然而，又不像引线，神经细胞能够很快地恢复；在经过短暂的休息之后，神经又能“嗞嗞作响”了。波的幅度(像引线的温度)在波沿神经传播时会有变化，但这没有任何影响。代码不关心幅度的涨落。有化学脉冲和无化学脉冲，这就像数字电话里的两个分立的电平。从这个意义上讲，神经系统是数字式的。但是，神经冲动不会被编码为字节：它们不能组成离散的代码数值。相反，信息的强度(如声音的响度、光线的亮度，甚至情绪的迸发等等)由脉冲的频率表达出来。工程师们把这种方式叫做脉冲频率调制。在出现脉冲编码调制技术以前，曾经广泛采用脉冲频率调制技术。

脉冲频率是个模拟量，而脉冲本身是数字式的：脉冲要么有，要么无，没有其他量值。如同其他数字系统一样，神经系统也从这一特点中获益匪浅。在神经系统中，也有一种相当于“放大器”的东西，但不是每100千米才有一个，而是每1毫米就有一个——在脊髓和你手指尖之间便有800个这样的“放大器”。如果神经冲动的绝对幅度在发挥作用，人的一支胳膊的长度就足以使所传输的信息面目全非，更不要说一头长颈鹿脖子那样的长度了。每一次放大都会引入更多的随机误差，就像进行800次的磁带复录一样。或者，就像用复印机进行复印、复印件再复印，经过800次复印之后，最后得到的将是模糊一片的灰色。数字编码为解决神经细胞的问题提供了惟一的解决办法，而自然选择也充分接受了它，基因的情况也是如此。

弗朗西斯·克里克(Francis Crick)和詹姆斯·沃森(James Watson)

是揭开基因分子结构之谜的人。我认为他们应当像亚里士多德和柏拉图那样世世代代受到尊敬。他们获得了诺贝尔生物学和医学奖，他们应该获此殊荣。然而，与他们的贡献相比，这奖励是微不足道的。谈论继续不断的革命，在字眼上几乎是矛盾的，然而不仅仅是医学，还有我们对生命的全部理解都会发生一次又一次的革命。这些革命是观念变化的结果，而观念上的变革是这两个年轻人在 1953 年发起的。基因本身，以及遗传疾病只不过是冰山的一角而已。在沃森和克里克之后，分子生物学真正的革命性变化，是它已变成数字式的了。

在沃森和克里克之后，我们知道，从内部的微细结构讲，基因本身就是一长串纯数字信息。尤其是，基因结构是真正数字式的，像计算机和激光唱机那样完全的数字化，而不是像神经系统那样部分的数字化。遗传密码与计算机代码不同，不是二进制的；遗传密码与某些电话系统也不相同，不是 8 位码；遗传密码是一种 4 进制代码，它有 4 个符号。基因代码完全像计算机的机器代码一样。除了专业术语不同之外，分子生物学杂志里面的每一页都可以换成计算机技术杂志的内容。关于生命核心的数字革命带来了许多结果，其中最重要的是，它给活力论者们关于“有生命物质与无生命物质有极大区别”的观点以致命的最后一击。直到 1953 年，人们可能还相信，在有生命的原生质中存在着某种基本的、不可再分的神秘物质。自那以后不再有人这样想了。甚至那些原先倾向于机械生命论的哲学家也不敢期望，他们那最不切实际的梦想能得到满足。

下面这段科学幻想小说的情节还是说得通的，只是技术上与今天不同，比今天的技术略微超前了一些而已。吉姆·克里克森(Jim Crickson)教授被外国的邪恶势力绑架，他们逼迫克里克森在一个生物

战实验室里工作。为了拯救世界文明，他所应该做的最重要的事情，就是把一些绝密的信息传递给外部世界。然而，所有正常的联系渠道都断绝了。只有一个例外，DNA密码有64个三联体“密码子”，足够组成一个包括26个大写字母和26个小写字母的完整英文字母表，外加10个数字、1个空格符号和1个句号。克里克森教授从实验室的样品架上取来一种恶性流感病毒，用无懈可击的英语句子将他要传达给外界的完整情报，设计在病毒的基因图谱中。他在设计的基因图谱上一遍又一遍地重复发布他的情报，还加上了一个极易辨认的“标志”序列，就是说，为首是10个引导数字。他让自己感染了这种病毒，然后到一个挤满了人的房间里不停地打喷嚏。一个流感浪潮横扫全球。世界各地的医学实验室都开始分析这种病毒基因图谱的排序，以期设计出一种疫苗来对付它。人们很快就发现，病毒的基因图谱中有一个奇怪的重复的模式。引导数字引起了人们的警觉，这些数字是不可能自发产生的。于是有人无意中想到采用密码分析技术来解决问题。这样，没费多少工夫，克里克森教授所传递的英文情报就被人们读懂了，消息传遍了全世界。

我们的基因系统(也是我们这颗行星上所有生命的通用基因系统)是彻底数字化的。你可以一字不差地把《新约全书》编入人类基因图谱中由“闲置”DNA占据的部分，这些DNA还没有被利用，至少是没有被人体以通常的方式利用。你体内的每一个细胞都含有相当于46盘巨大的数据磁带的信息，通过无数个同时工作的“读出磁头”将数字符号取出。在每一个细胞中，这些磁带——染色体——所包含的信息是一样的，但不同类型细胞中的读出磁头根据它们自己的特殊目的，挑出数据库中不同部分的信息。这就是为什么肌肉细胞会不同于肝细胞。这里没有受到心灵驱使的生命力，没有心跳、呻

吟、成长，也没有最初的原生质，神秘的胶体。生命仅仅是无数比特数字信息。

基因是纯粹的信息，是可以被编码、再编码和译码的信息，在这些过程中，其内容不会退化，也不会改变。纯粹的信息是可以复制的，而且由于它是数字信息，所以复制的保真度可以是极高的。DNA符号的复制，其精确度可与现代工程师们所做的任何事情相媲美。它们一代代被复制，仅有的极偶然的差错只足以引起变异。在这些变种中，那些在这个世界上数量增多的编码组合，当它们在个体内解码和执行时，显然能自动地使个体采取积极步骤去保持和传播同样的DNA信息。我们——一切有生命的物质——都是存活下来的机器，这些机器按照程序的指令，传播了设计这个程序的数据库。现在看来，达尔文主义就是在纯粹数码水平上的众多幸存者中幸存下来的。

现在看来，不可能有其他的情况。我们可以想像一下模拟式的基因系统。我们已经知道，模拟信息经过连续若干代的复制之后会产生什么样的后果：变成了一片噪声。在设有许多放大器的电话系统中，在多次转录磁带的过程中，在复印再复印的过程中——总之，在累积退化过程中，模拟信号极易受到损害。因此，复制只能进行有限的几代。然而，基因则不然，它可以自我复制千万代而几乎没有任何退化。达尔文的进化论之所以成立，仅仅是因为复制过程是完美无缺的——除去一些分立的变异，自然选择法则决定了这些变异或者被淘汰，或者被保留下来。只有数字式的基因系统能够使达尔文的进化论在地质时代中永放光华。1953年是双螺旋年，它将被看作是神秘论生命观和愚昧主义生命观的末日，而达尔文主义者则把1953年视为他们的学科最终走向数字化之年。

纯粹的数字信息之河，庄严地流过地质年代，并分解成30亿条支流。它是一个强有力的形象。但是，它在什么地方留下了熟悉的生命特征？它在什么地方留下了躯体、手脚、眼睛、大脑和胡须，树叶、树干和树根？它又在什么地方留下了我们和我们的各个部分？我们——动物、植物、原生动物、菌类和细菌——难道仅仅是供数码式数据从中流过的小河河道吗？从某种意义上来说，是这样。但是，正如我在前面所说，还不止这些。基因并不仅仅是复制它们自己，一代一代往下传。它们实际上把时间消磨在躯体内，它们存在于躯体内，它们影响一代接一代的躯体。躯体，从外观到行为都受到它们的影响。躯体也是重要的。

就拿北极熊来说。北极熊的躯体不仅仅是数字小溪的河道，它还是一部像熊那么大而复杂的机器。整个北极熊种群的所有基因是一个集体——它们是好的伙伴，肩并肩地走过时间旅途。但是，它们并不把时间都消耗在陪伴这个集体中所有其他成员上：他们在集体的一群成员内更换伙伴。“集体”这个词的定义是，它是一套基因，这些基因有可能与这集体中的任何其他基因(但不是世界上其他3 000万个集体之一的成员)相遇。实际的相遇总是发生在某一北极熊躯体的某一个细胞之中。因而，那个躯体并不是消极地接受DNA的一个容器。

每个细胞里都有完整的一套基因，想像一下细胞的巨大数目便足以使你震惊：一只大公熊体内有9亿亿个细胞。如果将一只北极熊的所有细胞排成一队，足以从地球到月球排一个来回。这些细胞分成几百种截然不同的类型，所有的哺乳动物基本上都有几类细胞：肌肉细胞、神经细胞、骨细胞、表皮细胞，等等。同一类型的细胞聚集在一起形成组织：肌肉组织、骨组织，等等。所有不同类型的细

胞都具有构成这种类型所需的基因指令。只有与相关组织相适应的基因才能被激活。这就是为什么不同组织的细胞形状和大小均不相同。更有趣的是，特定类型细胞中被激活的基因导致这些细胞长成特定形状的组织。骨骼并不是没有形状的、硬实而坚固的大块组织。骨骼有它们特定的形状：有中空棒状的，有球状和凹窝状的，还有脊椎骨和骨距，等等。细胞由它内部激活了的基因编好了程序，就好像它们很清楚自己的相邻细胞是哪些，自己的位置在哪里。它们就这样形成了自己的组织，长成了耳垂，或者心脏瓣膜、眼球、括约肌等不同的形状。

像北极熊这样的复杂有机体，它有很多层次。北极熊的躯体就是许多具有精确形状的器官(如肝脏、肾脏、骨骼等)的复杂集合体。每一个器官又是由特定组织构成的复杂的大厦，建造这些组织的砖块就是细胞，它们通常是一层层或一片片的，也常常是块状的实体。从更小的尺度上讲，每一个细胞都有高度复杂的内部结构，即折叠膜结构。这些折叠起来的膜，以及膜之间的液体，是发生多种不同类型的、错综复杂的化学反应的场所。在一家化学工业公司或者碳化物公司里，可能有数百种性质截然不同的化学反应正在进行。这些化学反应被烧瓶壁、管道壁等分隔开来。在一个活的细胞里，可能有差不多数量的化学反应同时发生。从某种程度上来说，细胞内部的膜就如同实验室里的玻璃器皿。当然，从两个方面来看，这种比喻不太恰当。其一，尽管有许多化学反应是发生在膜之间，但也有不少化学反应发生在膜上。其二，还有更重要的手段将不同的反应分隔开来。每一种反应都是由它自己特殊的酶来催化的。

酶是一种非常大的分子，它的三维立体结构提供了能促进反应的表面，从而加速特定类型的化学反应。由于对生物分子来说最重要

的是它们的三维立体结构，所以我们可以把酶分子看作一台大型机床，它通过仔细筛选，形成一条制造特定形状分子的生产线。因此，在任何一个细胞里面，都同时独立地发生着数以百计的不同化学反应，这些化学反应都是在不同的酶分子表面发生的。在一个特定的细胞中，发生哪些特定的化学反应，取决于存在哪些特定类型的酶分子。每一个酶分子，包括其十分重要的形状，都是在特定基因的决定性影响下装配出来的。确切地说，基因中数百个密码符号的精确顺序，根据一套完全已知的法则(遗传密码)，决定了氨基酸在酶分子中的序列。每一个酶分子都是一条氨基酸长链，而每一条氨基酸长链都自动盘绕成一个独一无二的、特定的三维立体结构，就像一个绳结。在绳结中，长链的某些部分与另一些部分形成交联键。绳结确切的三维结构是由氨基酸的一维顺序决定的，因此也就是由基因中密码符号的一维顺序决定的。这样，细胞里发生什么化学反应，就取决于究竟是哪些基因被激活了。

然而，在一个特定的细胞中，是什么决定了应该激活哪些基因呢？回答是：那些存在于细胞内的化学物质。这里包含着一个鸡和蛋的悖论，然而并非不可超越。实际上，对这一悖论作出解答，虽然在细节上很复杂，但是在原理上却很简单。计算机工程师把这种解答叫做“引导程序”。我第一次开始使用计算机是在 1960 年代，所有程序都必须通过穿孔纸带来输入(那时美国的计算机通常使用穿孔卡片，但原理是一样的)。在你装入大型程序纸带之前，你必须先装入一个小的程序，称为“引导装入程序”。这引导装入程序只做一件事：告诉计算机怎样装入纸带。但是，这里就有了鸡和蛋的悖论：这“引导装入程序”自己又是怎样“装入”的呢？在现代计算机中，相当于“引导装入程序”的功能已经由计算机里的硬件来完成

了。但是在早期，你必须按照规定的顺序操作键盘才能开始工作。这一系列按键告诉计算机怎样开始阅读引导装入程序的第一部分。然后，引导装入程序纸带的第一部分又告诉计算机，如何阅读引导装入程序的下一部分，等等。待引导装入程序全部输入计算机后，计算机就知道如何阅读任何纸带了，这时它才变成一台有用的计算机。

胚胎是这样开始形成的：1 个单细胞(也就是受精卵)分裂成 2 个；这 2 个又分别分裂，这就变成了 4 个细胞；每个细胞再分裂，变成了 8 个细胞，等等。用不了多少代，细胞数就增加到了万亿个，这就是指数分裂的力量。但是，如果仅此而已的话，那么这数以万亿计的细胞就全是一模一样的了。如若不是这样，它们又是怎样分化(请允许我使用技术术语)成为肝细胞、肾细胞、肌肉细胞……，并且各有不同的基因被激活，各有不同的酶在活动呢？通过“引导”。它是这样工作的：尽管卵子看上去像是个球体，实际上它内部的化学物质存在极性。它有顶部和底部，很多情况下还有前后之别(因此也有左边和右边)。这些极性的表现形式是化学物质的梯度。某些化学物质的浓度从前向后逐渐升高；另一些化学物质的浓度自上而下逐渐升高。这些早期的梯度虽很简单，却足以构成引导运作的第一步。

例如，当 1 个卵子分裂成为 32 个细胞的时候，也就是第五次分裂之后，这 32 个细胞中的某些细胞会得到多于平均数的顶部化学物质，另一些细胞得到了多于平均数的底部化学物质。细胞首尾之间化学物质也可能出现不平衡。这些差异足以在不同细胞内激活不同的基因组合。因此，在早期胚胎各不同部分的细胞中，会出现酶的不同组合。这就使得在不同的细胞中有更多的不同基因组合被激活。因此，细胞不再与胚胎内它们的克隆祖先保持一致，细胞出现

了世系趋异。

细胞的世系趋异完全不同于前面谈到的物种趋异。这些细胞趋异是依程序进行的，并且可以预见其细节。而物种趋异是由于地理上的突然变化所带来的偶然性结果，并且是不可预见的。此外，当物种趋异时，基因本身发生趋异，这种情况我曾充满想像力地称之为“永别”。当胚胎中发生细胞世系趋异时，分裂双方都接受相同的基因——全都相同。但是不同的细胞接受化学物质的不同组合，而不同的化学物质组合会激活与之相配合的不同基因，而且有些基因的使命就是激活或阻断其他基因。“自我引导”就这样进行下去，直到我们有了不同类型细胞的全部指令系统。

正在发育的胚胎不仅仅是分化为数百个不同类型的细胞。它的外部和内部形态还同时经历了精致的动态变化。或许最具戏剧性的是最早期的一个变化——原肠胚形成的过程。著名胚胎学家路易斯·沃尔波特(Lewis Wolpert)甚至这样说：“虽然不是出生、结婚或死亡，但它真正是你一生中最重要的时刻，这就是原肠胚的形成。”在原肠胚形成时到底发生了什么呢？一个由细胞组成的空球经弯曲变形之后变成了一只带衬里的杯子。一般来说，整个动物界的所有胚胎都要经历相同的原肠胚形成过程，这是胚胎学多样性的共同基础。在此，我只是把原肠胚的形成作为一个例子，一个特别引人注目的例子提出。在胚胎发育中经常见到，整层细胞不停地做着类似折纸的动作，原肠胚形成只是这类动作中的一个。

在折纸能手的表演结束后，经过一层层细胞无数次的折叠、伸展、鼓起和拉平后，在胚胎的一些部分生机勃勃而和谐有序地生长、另一些部分被消耗后，在分化为化学性质和物理性质上各异的数百种细胞后，当细胞的数量达到以万亿计的时候，这最终的产物便是一个

婴儿。不，婴儿诞生并不是终点，因为个体的整个生长——还有，躯体的某些部分比另一些部分生长得快——包括经由成年直到老年的过程，应该视为同一个胚胎学过程的延伸，这才是完整的胚胎学。

个体之间的不同之处，就在于它们在整个胚胎学过程中在数量细节上存在差异。一层细胞在折叠起来之前长得有点过头，这结果是什么呢？可能是鹰钩鼻子，而不是朝天鼻子；还可能是扁平足，这也许能使你免于战死疆场，因为扁平足者不准参军；也可能肩胛骨的形状特殊，它使你长于投掷标枪(或者掷手榴弹，或者打板球，这取决于你所处的环境)。有时，细胞层折纸动作的个别变化会带来悲剧性后果，比如天生胳膊残疾或无手的婴儿。由纯粹化学因素而非细胞层折纸动作引起的个体差异，其后果也同样严重：不能吸收牛奶、同性恋倾向、对花生过敏，或者吃芒果时感觉像吃松节油一般恶心。

胚胎发育是一种非常复杂的物理化学过程。在它的发展进程中，任何一点细节上的改变，都会给全过程带来不可估量的影响。你只要回忆一下这个过程在多么大的程度上借助于“引导”，对这一点就不会感到太惊奇了。许多个体发育过程中的差异是由环境不同引起的——例如缺氧，或者受到引起胎儿畸形的药剂的影响。许多其他个体差异是由基因的不同引起的——不仅仅是那孤立的基因，还有那些与其他基因相互作用的基因，还有与环境差异发生相互作用的基因。胚胎发育是个复杂的、千变万化的过程，又是个错综复杂、互相影响的自我引导过程。胚胎发育过程既强有力又很敏感。说它强有力，是因为它排除了许多潜在的变异，对抗着有时看来势不可挡的种种可能，产生出一个活生生的子代。与此同时它对变化非常敏感，以致不存在两个所有特征都完全一样的个体，甚至没有一模一样的双胞胎。

现在，这一讨论已渐渐引到这个论点上。在由于基因所引起的个体间差异(差异的程度可大可小)面前，自然选择可能倾向于胚胎折纸动作或胚胎化学的后代，而淘汰其他个体。就你的投掷手臂受到基因的影响来说，自然选择有可能接受它，也可能淘汰它。如果善投掷对个体存活时间是不是够长、是否能有自己的孩子产生了一定影响(不管这影响是多么轻微)，而投掷能力又受基因的影响，这些基因便有较大的可能性传到下一代。任何一个个体都可能因为与他的投掷能力没有关系的原因而死去，但是，导致个体善投掷的基因(有这个基因的人比没有这个基因的人更善于投掷)将寄居于很多人体内，延续许多世代。从这个特定基因的角度来看，其他的死因将是均等的。从基因的观点来看，存在的只是流经世世代代的DNA之河，只是在某一个躯体内临时寄居，只是与伙伴基因临时共享同一个躯体，而这些伙伴基因可能是成功的，也可能是失败的。

经过很长一段时期之后，基因之河里充满了历经万难仍存活的基因。成功的基因是多种多样的：有的基因使人投掷长矛的能力略有提高，有的基因使人辨别毒物的能力略有提高，以及其他等等。作为一种平衡，有些基因对生存不利：可能会使具有它的人眼睛散光因而标枪投不准，或者使具有它的人缺乏吸引力因而找不到配偶。它们最终会从基因之河中消失。在所有这一切中，要牢记我们在前文指出的论点：在基因之河中能够长期存活下去的基因，将是那些有利于这一物种在一般环境中存活下去的基因；所谓“一般环境”，或许最主要是指这个物种的其他基因，即指这个基因不得不与之在同一个躯体中共存的那些基因，与之在同一条基因之河中共同游过地质时代的那些基因。

第二章 非洲人和她的后代

将科学仅仅看作是现代神话，这常常被认为是聪明的说法。犹太人有他们的亚当和夏娃，苏美尔人有他们的马尔杜克(Marduk)和吉尔伽美什(Gilgamesh)，希腊人有他们的宙斯(Zeus)和奥林匹斯山诸神(Olympians)，古斯堪的纳维亚人有他们的忠烈祠。所谓进化，某些时髦人说，不过是古代诸神和史诗英雄的现代表达法，既不好、也不坏，既不更真实，也不更虚假。有一种流行的沙龙哲学，叫做“文化相对论”，它以其极端的方式坚持认为，科学并不比部落神话更接近真理：科学只不过是我们现代西方部落偏爱的神话而已。有一次，我被一位人类学家同事激怒，我直率地表达了以下观点：假设有一个部落，那里的人都相信月亮是一只旧葫芦，被人抛上天去，挂在比树梢高不了多少的地方，难道你果真认为，我们的科学真理——月亮距我们大约 38 万千米，它的直径是地球的四分之一——不比部落的神话更正确些？“是的，”这位人类学家说，“我们所受的文化教育以科学方式去看待世界，而他们所受的文化教育以另一种方式看待

世界。两种方式谈不上谁对谁错。”

如果把一名文化相对主义者放到千米高空，你就能看到一个伪君子了。飞机是根据科学原理建造出来的。飞机可以飞上蓝天，把你从空中送到你想去的地方。根据神话传说所载建造的飞行器则不行。比如，模拟货物崇拜者的说法制造的飞船，或是像伊卡罗斯(Icarus)那样用蜡粘上一对翅膀，是飞不上天的*。假设你乘飞机去参加一个人类学家或文学评论家的国际会议，你之所以能抵达目的地，之所以不会中途坠落，是由于许多受过科学教育的工程师们做出了正确的设计。西方科学家，根据月亮在约40万千米外的轨道上绕地球运行，利用西方设计的计算机和火箭，已经成功地将人送上了月球表面。部落科学家认为月亮只不过是在树梢之上，却永远只能在睡梦里摸到它。

我在公开场合作报告的时候，总有听众明确地提出一些与那位人类学家同事同样思路的事情，而且常常能得到一些人点头赞同，引起一阵低声议论。毫无疑问，点头的人感觉良好，心胸宽大，没有种族歧视。一个更可信、更能引人赞同的说法是：“从根本上说，你对进化论的信任成了信仰，所以，你一点不比相信有伊甸园的人好。”

每一个部落都有关于自身起源的神话传说，这是他们的关于宇宙、生命和人类的故事。在我们现代社会里，至少在受过教育的阶

---

* 我已不是第一次使用这个必胜的论据。我必须强调指出，这仅仅针对与我那位旧葫芦同事持同样想法的人。还有一些人，尽管他们也令人不解地自称“文化相对论者”，但他们的观点完全不同，而且十分明智。对于他们，文化相对论仅意味着，如果你试图用自己的文化术语去诠释另一种文化的信念，你是不可能理解它的。你必须将某一文化的每个信念放在该种文化的其他各种信念背景下观察。我猜，这种理解才是文化相对论的本意。而我所批评的那种，是对文化相对论的一种极端主义的曲解，虽然它颇能蛊惑人心。明智的文化相对论者应该努力与这种荒唐的文化相对论划清界限。——原注

层中存在一种观点，认为科学确实提供了与此相应的东西。科学甚至可能被描写成一种宗教。我曾经摘要公布过一宗案例，把科学列为宗教教育班的适用科目(在英国，学校的教学大纲把宗教教育列为必修课，这与美国不同。在美国，为避免冒犯各种各样互不相容的信仰中的任何一种，禁止学校将宗教教育列为必修课)。科学与宗教都自称能回答关于人类起源、生命本质，以及宇宙等深刻问题。但是，它们的相似之处也就到此为止了。科学信念有证据，并且能得出答案。神话传说和宗教信仰却没有证据，也得不出答案。

在所有有关人类起源的神话传说中，犹太人关于伊甸园的故事对我们的文化影响最大，以至它的名字被用来给一个有关我们祖先的重要科学理论命名——“非洲夏娃”理论。我把本章献给非洲夏娃，部分原因是因为它使我能进一步发挥“DNA之河”这一比喻；同时，也因为我想让她作为一种科学假说，与传说中伊甸园的女家长形成对比。如果我能成功，你就会发现事实比神话更有趣味，也许甚至更富诗意、更能感人。我们从纯理论开始演练，其中的关系很快就会清楚。

你有父母2人，祖父母4人，曾祖父母8人……每上溯一代，你的祖先数目就多1倍。上溯g代，那么祖先的数目就是2的g次方，即2^g。只是，不等我们离开坐椅，我们很快就会发现，这是不可能的。为了说服我们自己明白这一点，我们必须走一小段回头路，比方说，追溯到耶稣的时代，那是大约整整2 000年前。如果我们做一个保守的假设：每100年产生4代人(也就是说人们平均在25岁时生育下一代)，那么2 000年共有80代人。实际的数字可能更大(因为直至今日，许多妇女在非常年轻时就开始生育了)，但这只是假设性的推算，不必考虑得这么细。2自乘80次是一个巨大的数字：1后面跟

24个0，即1亿亿亿。就是说，你有1亿亿亿个与耶稣同时代的祖先，我也有那么多祖先！但是，在那个时代，全世界的总人口仅仅是我们刚算出的祖先人数的一个可以忽略不计的零头而已。

显然，我们在某个地方出了差错。但是，错在哪儿呢？我们的计算正确无误。错就错在假设每上溯一代祖先数目增加一倍上。事实上，我们忘记了表亲之间的通婚。我原来假设，我们每个人都有8位曾祖。但是嫡表兄妹婚配所生的孩子，只有6位曾祖。这是因为，就嫡表兄妹而言，一人的祖父母是另一人的外祖父母，而这共同的祖父母(外祖父母)就是他们孩子的曾祖父母兼外曾祖父母。你也许会问："那又怎样呢？"人们偶有表亲联姻的情况，达尔文的妻子埃玛·伟奇伍德(Emma Wedgwood)，就是达尔文的嫡表妹，但这种情况肯定不会很多，不至于造成很大差异吧？不，它会的。因为我们所说的表亲之间通婚，还包括三代、五代、十六代以至更远的远亲之间的通婚。如果你把表亲关系算得那么遥远，每一个婚姻就都成为表亲之间的婚姻了。有时，你会听到有人夸口说自己是女王的远亲，这是在自我吹嘘。因为，追根究底，通过多得难以追溯的途径，我们大家都是女王的远亲，也是其他每一个人的远亲。皇族和贵族惟一与众不同的是：他们的家系可以明确地追溯上去。正如十四世霍姆伯爵(Earl of Home)在回答政敌针对他的头衔所作的嘲讽时说："我猜，威尔逊先生，您碰巧会想到，自己是十四世威尔逊。"

综上所述，我们互相之间的亲属关系要比我们通常所意识到的近得多，我们祖先的实际人数比我们通过简单计算得到的数字要少得多。一次，为了使一个女学生按照这一思路推理，我要她估猜，她和我两人最近的共同祖先生活在多久以前？她盯着我的脸，毫不犹豫地用缓慢的土音答道："在类人猿时代。"出于直觉的迅速反应，

可以原谅，却百分之百地错了。 它意味着分隔的时间数以百万年计。实际上，她和我最近的共同祖先，很可能就生活在两三百年之内，在威廉一世(1066～1087)之后很久。 而且，我们之间肯定具有多重亲属关系。

导致我们错误地多算祖先人数的那个世系模式，是一棵不断分杈，从分杈上再分杈的树。 将它调过头来，是一棵同样错误的子系模式树。 一个典型的人有 2 个子女，4 个孙子孙女，8 个曾孙曾孙女……经过几个世纪之后，后裔的数目就会多到不可思议。 一种远为真实的世系模式是流动的基因之河，我们已在第一章中作过介绍。在河流的两岸之间，基因有如永远滚滚而下的水流，在时间中流淌。基因纵横交错，沿时间之河而下，水流打着漩涡时分时合。 沿着河流每隔一定距离取一桶水。 桶中的一对对分子，在顺流而下的过程中曾间歇地成为伴侣，以后还会再次成为伴侣。 它们过去也曾经被远远地隔离，将来还会再被远远隔离。 要追寻它们接触的地点极其困难，但是我们可以确信无疑地肯定有接触——确信无疑地肯定，如果两个基因在某一点没有接触，那么，无论是向上游还是下游，沿基因之河不用走很远，它们又会再次相遇。

你可能不知道，你就是自己丈夫的表亲。 其实从统计角度看，你不必追溯到太久远的祖辈，就很可能会找到与丈夫在血统上的连接点。 再换一个方向，让我们面向未来。 显然，你有很好的机会与丈夫(或妻子)共有后代。 然而，这里有一个更惊人的想法。 下次你同一大群人在一起的时候，比方说，出席音乐会，或观看足球比赛，你看看周围的听众或观众，想想如下的假设：假设你有后代生活在遥远的将来，这个音乐会上或许就有人与你同是这些未来后代的祖先，你可能还跟他们握过手呢。 一般说来，孩子的祖父母与外祖父母都知

道他们是这些孩子的共同祖先。不管他们是否合得来，这一层关系必定会给他们带来亲情感。他们可能互相瞧着对方说道：“唷，我并不太喜欢他，但他的 DNA 混合了我的 DNA，存在于我们共同的孙辈体内。可以预期，在我们死后很久，我们还会有许多共同的后代。这当然在我们之间形成了一种联系。”我的意思是，如果你有幸在遥远未来拥有后代，在音乐厅里的陌生人中，就很可能有人是你后代的共同祖先。你可以环视观众席，推测哪一位命中注定会与你共有后代，哪一位不会。不管你是谁，无论你是什么肤色、什么性别，都可能和我同是未来某人的祖先。你的 DNA 也许注定会与我的 DNA 混合在一起。敬礼！

现在，假设我们乘坐时间机器回到过去的岁月，也许回到了罗马圆形剧场中的人群中，或者回到了更早的乌尔国*集市上，甚至更古老的地方。环视人群，就像看待现代音乐厅的听众那样。你可以把这些已逝去很久的人分为两类，而且只有两类：一类是你的祖先，另一类不是你的祖先。这是再明显不过的，但由此我们得出了一个非凡的真理。如果时间机器能够把你带回足够久远的过去，你可以把所遇到的人分成两类：1995 年存活的每一个人的祖先，或者不是 1995 年存活的人的祖先。决无介于两者之间的人。跨出你的时间机器，你所看到的每一个人或者是全人类的祖先，或者不是任何人的祖先。

这是一个十分吸引人，又很容易证明的想法。你需要做的事，只是把想像中的时间机器往回开，开到甚至是荒唐可笑的久远以前，比如，3.5 亿年前，那时我们的祖先还是有肺的总鳍鱼，刚从水中爬

* 乌尔国，巴比伦尼亚南部奴隶制城邦。位于今伊拉克幼发拉底河下游右岸。——译者注

出来变成两栖动物。如果某一条鱼是我的祖先，却不是你的祖先，那将是不可思议的。如果确实如此，便意味着在从鱼到两栖动物、爬行动物、哺乳动物、灵长类、猿、原始人的进化过程中，你的世系与我的世系互相独立，也没有互相参照，而结果我们却如此相似，以至于我们可以交谈，如果我们是一男一女，还可以互为配偶。这些事实在你我之间是真实的，在任何两个人之间也是真实的。

我们已经证明，只要返回到足够久远的过去，我们遇到的每一个人要么是我们所有人的祖先，要么不是我们任何人的祖先。但是多久才算是足够久远呢？很明显，我们不需要回到总鳍鱼的时代，那是归谬法，但是我们到底需要追溯到多久的过去，才能见到 1995 年存活着的人的共同祖先呢？这个问题难得多，是我下一步将要转入的问题之一。这个问题光拍脑袋是答不出的。我们需要真实的信息，以及来自特定事实方面的计量。

可敬的英国遗传学家和数学家罗纳德·费希尔爵士(Sir Ronald Fisher)，被认为是达尔文在 20 世纪最杰出的继承人和现代统计学之父。他在 1930 年曾经讲过这样一段话：

> 仅仅由于地理上的和其他一些对于不同种族之间婚配的障碍……才避免了全人类在最近的 1 000 年间逐渐拥有同一个祖先。对同一个民族的成员来说，500 年前差不多都是一家了。能够保留 2 000 年的只有不同人种间的差异，这些……也许有的确实极其久远，但这只发生于个别的群体间长期鲜有血缘混杂的情况下。

用我们基因之河比喻的说法，费希尔实际上是利用了这样一个事

实：一个在地理上统一的种族，其所有成员的基因沿着同一条河顺流而下。但是，涉及到他那些具体的数字——500年，2 000年，不同种族分离的年代，费希尔就不得不进行一些猜测了。在他所处的时代，还没有相关的事实可资利用。到今天，随着分子生物学的革命，资料之丰富已使人无所适从。正是分子生物学，给予了我们具有超凡魅力的非洲夏娃。

数据河并不是迄今使用过的惟一比喻手法。将我们每个人体内的DNA比喻为一本家庭版的《圣经》，是很吸引人的。DNA是一篇非常长的经文，如我们在第一章所说，它是用4个字母写成的。这些字母是从我们祖先那里，而且只能从我们祖先那里一丝不苟地复制下来。即使从极远的祖先至今，仍然异常精确。将不同的民族所保留的经文作比较，重建他们的亲戚关系，回溯到他们共同的祖先，这应该是可能的。远亲之间的经文之间会有较多词不相同。他们的DNA有更长时间异化——比如挪威土著居民与澳大利亚土著居民。学者们使用各种不同版本的文本做这件事情。不幸的是，在DNA档案中，存在着一个意外的障碍，那就是性。

性是档案保管员的噩梦。祖传的经文不是被完好无损地保留下来，仅仅偶有不可避免的错误；而是被性大肆介入，并且销毁了证据。公牛闯入瓷器店，都比不上性对DNA档案的践踏。在《圣经》研究中没有这样的东西。诚然，一个追寻源头，比如《雅歌》的起源的学者意识到，最初的《雅歌》与现在的不一样。现在这个《雅歌》有些古怪而且不连贯的章节，提示人们它其实是几首诗的片断(而且只是其中色情的部分)凑在一起的。它含有差错——突变，特别是翻译错误。“Take us the foxes, the little foxes, that spoil the vines.”(把狐狸抓来，那些小狐狸，它们毁了葡萄藤)是误译。尽管终生的反

复诵读使之有了令人难以忘怀的感染力，但是，它仍然不能与那正确的译文相提并论："Catch for us the fruit bats, the little fruit bats……"(把狐蝠抓来，那些小狐蝠……)。

> 看哪，冬天逝去，雨过天晴。鲜花开放在大地上；百鸟欢唱时刻来临，田园中又闻乌龟声。

这首诗何其令人陶醉！因此我真的不情愿煞风景地指出，这里也有一个无可置疑的变异。像现今的译文那样，在"乌龟"(turtle)后面加上dove，改成"斑鸠"，固然正确，却很呆板，听起来韵律被破坏了。然而，当文章既不是成千上万份地印刷出来，也不是刻蚀在高保真度的计算机光盘上，而是由老朽的抄写员从稀有而易碎的莎草纸文稿传抄再传抄，那么，这些就已经是我们所能企盼的最小差错，属于不可避免的轻微退化。

但是，现在引入了性(我的意思不是把性引入《雅歌》)，我所说的性的作用是，将一份文件撕去一半，而且随机地撕成一片片，然后与另一份文件的乱得不相上下的一半混合。这听起来难以置信，甚至是野蛮的破坏，但确实是在生殖细胞形成时所发生的。例如，当一个男人制造一个精子细胞时，父亲遗传给他的染色体与母亲遗传给他的染色体就结成一对一对，而且其中很多都改变了位置。一个孩子的染色体，实际上是他祖代染色体无法复原地混杂、拼凑而成的大杂烩，而且一直回溯到远祖都是如此。原想要的古代经文，它的字母，可能还有单词，也许能够原封不动地代代相传。然而章、页、甚至于段，却被无情而有效地撕碎后重新粘贴到一起；这种破坏可以说是非常无情，以至从跟踪历史踪迹的角度来看几乎一无用处。凡

涉及世系，性总是一个巨大的障碍。

只要性确实没有牵涉进来，我们就能利用DNA档案来重现历史。我想到两个非常重要的例子。一个就是非洲夏娃，我下面会讲到她。另一个例子，是重现更久远的祖先——着眼于各个物种之间的亲缘关系，而不是物种内的亲缘关系。我们在前一章中已经看到，有性繁殖只发生在物种之内。当一个亲本物种建立了一个子代物种时，基因之河就分成两条支流。等到它们分岔时间足够长，远离它作为档案管理员的障碍之时，每条支流中的有性繁殖实际上有助于重建物种间的世系和亲缘关系。只是在涉及物种内部的亲缘关系时，性才把证据搞乱。对于种间的亲缘关系来说，性只有助益：它倾向于自动地确保每一个体都是整个物种的优良遗传样本。在搅拌均匀的河水中，你从哪里打一桶水都一样，哪一桶水对那条河的水都具有代表性。

为了画出物种的系谱，事实上已对取自不同物种典型样本的DNA文本进行过逐字的比较，并且很成功。根据一个有影响的学派的说法，甚至能够在分岔的地方标出日期。这种机会来自尚有争议的“分子钟”概念，该假说认为：基因文本任一区域内每百万年发生突变的速率是恒定的。我们很快就要回到关于分子钟的假说上来。

在我们的基因中，描述一种称为细胞色素C的蛋白质的“段落”共有339个字母。马与我们的亲缘关系相当远，人类细胞色素C与马的细胞色素C有12个字母的改变。猴子是我们相当近的亲戚，人类细胞色素C与猴子的细胞色素C只差1个字母。驴是马的近亲，马与驴的细胞色素C也仅有一字之差。此外，猪与马的亲缘关系稍远，它们的细胞色素C之间有3个字母不同。人与酵母的细胞色素C之间有45个字母的差别，而猪与酵母之间，也同样是45个字母的差

别。这两组数字的相同并不令人奇怪。沿着人类的基因之河溯流而上，就会发现，人与猪的基因之河汇合的时间，要比它们一起与酵母的基因之河汇合的时间近得多。但是，在这些数字当中也有一个小小的污点。马与酵母的细胞色素 C 相差 46 个而不是 45 个字母。这并不意味着对酵母来说，猪比马的亲缘关系更近些。它们同为脊椎动物，并且，实际上，还同为兽类，与酵母的亲疏程度是完全一样的。或许，在与猪的最近的共同祖先之后，在演变到马的世系中，不知不觉地出现了一个额外的变化。这并不重要。总体说来，各对生物之间细胞色素 C 字母差异的数目，与前述进化树分杈的想法所推断的情况十分吻合。

前面提到的分子钟学说认为，一个基因文本每百万年的变化速率是大体固定的。关于区分马与酵母的 46 个细胞色素 C 字母变异，一般认为，其中大约一半是发生在从它们共同祖先到现代马的进化过程中，大约另一半发生在从它们共同祖先到现代酵母的进化过程中(显然，这两条进化途径经历的时间是完全相同的)。最初，这种假设似乎令人惊讶。毕竟，它们的共同祖先很可能更像酵母，而不那么像马。自从著名的日本遗传学家木村元率先表示支持之后，对于该假设的一种调整，即基因文本中的大部分可以自由改变，而不影响基因文本的含义，已经逐渐被接受。

在一句句子中采用不同字体就是一个很好的比拟。

“马是一种**哺乳动物**”。“酵母是一种**真菌**。”尽管在这两个句子里，每个词都采用了不同的字体，但它们的意义却十分明晰。数百万年间，分子时钟滴嗒滴嗒地送走了相当于毫无意义的字体变化的那些东西。由自然选择决定的变化和描述马与酵母之间差异的变化——也就是句子在意义上的变化，则是冰山的尖顶。

有些分子的时钟速率较另一些分子快。但细胞色素C的进化相当缓慢：大约每2 500万年有一个字母变化。这或许是因为，细胞色素C对生物生存极其重要，其作用主要取决于它的具体形状。在这种形状至关重要的分子里发生的大多数变化，是自然选择所不能容忍的。其他一些蛋白质，如血纤维蛋白肽，虽然也很重要，却有多种能同样起作用的形式。血纤维蛋白肽能使血液凝固，你可以改变它们大部分的细微结构，却不会损害它们的凝血能力。这些蛋白质的突变速率为每60万年左右发生一次变化，比细胞色素C快40多倍。因此，血纤维蛋白肽可以用来再现比较晚近的世系，比如在哺乳动物范围内，但是，却不能用它们来再现古老的世系。不同的蛋白质有几百种，每一种都有自己特有的变异速率，因此，每一种都可以独立地用于重建系谱。它们产生出的都是几乎一模一样的系谱。顺便说一句，这就很好地证明了(如果需要证据的话)进化论是正确的。

我们已经认识到，性的混杂搞乱了历史记录，并由此展开了我们的讨论。我们已经找出两条途径，可以避开性的干扰。前面就其中之一进行了详细讨论。我们的讨论基于这样一个事实，即：性不会把不同物种的基因混合在一起。这就为我们提供了这样的可能性：利用DNA序列来重建我们远祖的系谱，这些远祖生活在我们成为人类之前很久。但是，我们已经同意，如果我们回到足够久远的过去，那么无论怎么说，我们全人类肯定都是同一个体的后裔。我们还曾企图找出，最近到什么时候，我们仍然可以宣称与其他所有的人是同一血统。为了找到答案，我们不得不转而求助于另一类DNA证据。由此，非洲夏娃走进了我们的故事。

非洲夏娃有时也称为线粒体夏娃。线粒体是微小的菱形小体，成千上万地充满我们的每个细胞。它们内部基本上是空的，但具有

复杂的膜结构。这些膜的面积，比你从线粒体外表所能想像的要大得多，而且很有用。这些膜是一座化学工厂(更确切地说是一座发电厂)的生产线。受到精确控制的链式反应沿着这些膜进行，这个链式反应的步骤，比任何人类化工厂里的反应步骤都要多。结果，源自食物分子的能量在控制之下一步步地被释放出来，并且以可再利用的形式储存下来，以便往后不论体内什么地方需要，随时都可以用于燃烧。若没有线粒体，我们一秒钟内就会死去。

这就是线粒体的功能，然而我们在这里更关心的是线粒体是从哪儿来的。原来，在久远的进化历程中，它们曾经是细菌。这一杰出的理论是由阿默斯特市马塞诸塞州立大学可敬的林恩·马古利斯(Lynn Margulis)首先提出的。这一理论最初曾被视为异端邪说，当时只有少数人对它发生了兴趣，现在已经被广泛接受，可以说是大获全胜了。在20亿年前，线粒体的远祖是独立生活的细菌。后来，它们与其他种类的细菌在较大的细胞里“定居”。所形成的(“原核”)细菌群落又变成大的(“真核”)细胞。我们每一个人都是数以百万亿计的互相依存的真核细胞群落。每一个这样的细胞，又是由数千个被驯化的完全封闭在细胞里的细菌组成的群落。它们在细胞里面就像细菌一样地增殖。据计算，如果一个人身体里所有的线粒体首尾相连排成一列，那它将不是绕地球一圈，而是能绕上2 000圈。一只动物或一株植物，就是一个由相互作用的不同层次的小群落聚合而成的巨大群落，正如一片雨林。拿雨林来说，它本身就是一个云集了大约上千万种生物的群落，而每一物种的每一成员本身又是一个群落，它又有许许多多由被驯化的细菌组成的群落。马古利斯博士关于起源的学说——细胞好似封闭的细菌乐园——决非伊甸园的故事所能与之相比，它更令人激动、令人兴奋、令人振作。它还有另一个优

势，那就是它几乎可以肯定是真实的。

如同大多数生物学家一样，我现在也设想马古利斯学说是正确的，在这一章里我提到它，只是为了继续探讨一个特别的含义：线粒体有它们自己的 DNA，同其他细菌一样，仅存在于一个单环染色体内。现在我们就这一点进行探讨。线粒体 DNA 不参与任何性的混合，不与躯体的主“核”DNA 混合，也不与其他线粒体 DNA 混合。像很多细菌一样，线粒体只通过分裂来增殖。每当一个线粒体分裂为两个子线粒体的时候，每一个子线粒体得到与原有染色体一模一样的“拷贝”。从我们系谱学者的观点来看，现在你该看到它的妙处了。我们发现，我们担心普通的 DNA 文本每一代都被性搅乱证据，混淆了来自父系和来自母系的贡献的所在，线粒体 DNA 却有幸独善其身。

我们仅仅从母亲那里得到线粒体。精子太小，只能容纳少数的线粒体；它们所能产生的能量，只够在精子游向卵子时提供精子尾巴作动力；受精时，精子的头部被卵子吸收，而这些线粒体则同精尾一道被抛弃了。相比较而言，卵子的个体巨大。在卵子庞大且充满液体的内部，包含着丰富的线粒体种质。这些线粒体种质进入子代的身体。因此，无论你是女性还是男性，你的线粒体全部都来自最初接种的你母亲的线粒体。无论你是男性还是女性，你的线粒体全部都来自你外祖母的线粒体。你的线粒体，无一来自你父亲，无一来自你祖父或外祖父，无一来自你祖母。线粒体构成了对于往昔的独立记录，没有被主细胞核的 DNA 所沾染，而主细胞核 DNA 是均等地来自你 4 位祖父母中的每一位，你 8 位曾祖父母中的每一位……依此往前类推。

线粒体 DNA 虽不受沾染，却不能避免突变，即复制中的随机差

错。而且，它的变异率比我们“自己的”DNA要高。这是因为，就像所有的细菌一样，它不具备我们的细胞在千万年间逐步形成的精确的校对机制。在你我的线粒体DNA中会有几处差异，根据差异的数量，可以推测出你我的祖先是在多久以前分岔的。这里所说，不是所有的祖先，而是我们在女性—女性—女性……一线上的祖先。如果你的母亲是位纯种的澳大利亚土著居民，或者是一位纯种的中国人，或者卡拉哈里土著居民，那么，你我的线粒体DNA之间确实会有许多不同。至于你父亲是谁就无所谓了：他可以是一位英国侯爵，或者是一位苏族首领，对你的线粒体都没有影响。你所有的男性祖先也都一样。

因此，就有了一本单独的线粒体《次经》*，它与主要的家庭圣经一起代代相传，并有一个很大的优点：只由母系往下传。这种观点并不是性别歧视，如果它由父系传下来，也丝毫不差。其优点在于完整性，在每一代都既不会被割裂，也不融合。作为DNA系谱学者，我们需要的是纯粹单一性别，而不是两个性别都有的世系。如同姓氏一样，Y染色体只由父系传下来，从理论上来说也同样是适用的，但是它所包含的信息太少而派不上用处。把线粒体《次经》用于确定同一物种内共同祖先的年代是非常理想的。

一组研究人员曾与伯克利加州大学已故的阿伦·威尔逊(Allan Wilson)合作研究线粒体DNA。1980年代，威尔逊和他的同事们曾从全世界抽样了135名妇女进行线粒体DNA序列调查。这些妇女中有澳大利亚土著人、新几内亚高地人、美洲土著人、欧洲人、中国人，

* 指《圣经·旧约》中见于七十子希腊文译本和通洛拉丁文本，但未为希伯来文原文或基督教新教译本收录的经文。——译者注

以及非洲多个民族的代表等。他们逐对研究了每个妇女与其他各个妇女线粒体 DNA 字母差异的数目。他们将这些数目输入计算机，要求计算机构建出它所能找到的最简便的家族树系。“最简便的”在这里是指尽量排除假设性一致。这点需要作些解释。

回顾一下我们在前面进行的关于马、猪、酵母等的讨论，以及对细胞色素 C 字母序列的分析，你就会回忆起，马与猪之间只有 3 个字母不同，猪与酵母之间有 45 个字母不同，而马与酵母之间，这种不同的字母有 46 个。我们曾指出，从理论上讲，由于有比较近的共同祖先把马和猪互相联系在一起，所以它们各自与酵母的距离应该完全一样长。45 与 46 的差异是一种畸变，在一个理想世界里不应存在。它或许是由于在马的进化过程中出现过一次额外的突变；或许是在猪的进化过程中出现过一次相反的突变。

这儿确实存在着一种荒谬的观点。在理论上可以设想，猪与酵母的关系要比它与马的关系近。在理论上，猪和马逐步形成如许相似之处(它们的细胞色素 C 文本只有 3 个字母不同，而它们的身体基本上是一模一样的哺乳动物模式)，有可能是出于种种巧合。我们之所以不相信这一观点，是由于猪和马相像的地方比猪和酵母相像的地方多得多。不可否认，在一个 DNA 字母上，猪与酵母更为接近，然而这被猪与马之间其他方面无数的相似之处压倒了。理由是最简便。如果我们假设猪与马的关系近，我们只需接受一个因巧合形成的相似之处；如果我们假设猪与酵母的关系近，我们就必须假定一连串的相似之处都是互不相干地因巧合而形成的，其数量多到不现实的程度。

在马、猪和酵母的相互关系问题上，上述的简便理由是显而易见、无可置疑的。但是，人类不同种族的线粒体 DNA 相似程度极

高，这是没有什么可怀疑的。“简便”的理由仍然存在，但只表现为微不足道的数量上的论据，而不是有力的、决定性的论据。从理论上说，计算机要做的工作是：列出全部有关135名妇女的可能的家族树，然后检验这一系列家族树，从中选出最“简单化”的一种，即因巧合而致的相似之处最少的一种。我们必须面对这样的事实：即使是最好的家族树，也可能迫使我们去接受一些小的巧合，就像我们被迫接受如下事实：从一个DNA字母的角度看，酵母距猪更近些，离马更远些。但是，至少在理论上，计算机应该能够轻易地完成这一任务，并向我们展示，在众多可能的家族树中，哪一棵是最“简便”的，也就是巧合最少的。

这只是在理论上。但在实际上存在着一个障碍。可能的家族树的数量，比你、我，或任何数学家所能想像到的要大得多。在马、猪和酵母一例中只有3种可能的家族树。显然正确的一种是[(猪、马)酵母]，猪和马一起，被放置在内括弧里，而酵母则是无关联的“局外者”。另外两种理论上的家族树，是[(猪、酵母)马]和[(马、酵母)猪]。如果我们再加上第四种生物，比如鱿鱼，家族树的数目就会上升到15个。我不想一一列出所有这15种家族树，但是愿举出正确(最简便)的一个，即[(猪、马)鱿鱼]酵母。猪和马作为近亲又一次舒适地被放置在最内层的括弧里。下一个参加该俱乐部的是鱿鱼。跟酵母相比，它与猪／马世系拥有更为晚近的共同祖先。其他14个家族树中的任何一个，比如[(猪、鱿鱼)、(马、酵母)]，肯定都不够简便。如果猪真是鱿鱼的近亲，马确实是酵母的近亲，那么，猪和马极不可能各自独立地发展了如此多的相似之处。

如果说3种生物有3种可能的家族树，4种生物有15种可能的家族树，那么135名妇女会构成多少种可能的家族树呢？答案将是一

个大得可笑的数字，甚至没法把它写出来。假如用世界上最大、最快的计算机来列出所有的可能的家族树，直到世界末日，也还不能取得明显进展。

然而，这个问题还是有希望解决的。我们习惯于利用审慎的抽样方法来对付无法想像的巨大数字问题。虽然我们数不清亚马孙平原有多少昆虫，但是我们可以在森林中随机选取一些小地块，假设这些地块具有代表性，便可根据小地块抽样的数字推算出亚马孙平原昆虫总数。我们的计算机不可能检验有关135名妇女的所有可能的家族树，但是计算机可以从所有可能的家族树中进行随机抽样。如果你什么时候从100亿亿个可能的家族树中抽取一些样本，注意到若干最简便的样本都具有某些共同特性，你可以由此断定，在所有家族树中，大概最简便的家族树都有同样的特性。

这是人们迄今已经做过的事情。然而这并不一定表明它是解决问题的最佳方法。正如昆虫学家可能不同意用最典型的方法给巴西雨林抽样，DNA系谱学者也采用了各种不同的抽样方法。而且，遗憾的是，结果并非总是一致的。然而，由于他们的工作极有价值，我将把伯克利研究小组对人类线粒体DNA所做的最初分析的结论介绍给读者。他们的结论非常有趣，并且颇有争议。根据他们的分析，最简便的树系牢牢地扎根于非洲。这话的意思就是，一些非洲人与其他非洲人的关系比与全世界其他地方任何人的关系更远。世界上所有其他地方的人——欧洲人、美洲土著、澳大利亚土著、中国人、新几内亚人、因纽特人，以及所有其他人——构成了一群相对较为亲近的表亲。部分非洲人属于这一组近亲，但其他非洲人则不属这一组。根据这一分析，最简便的家族树看来是这样的：{某些非洲人[其他非洲人(再其他一些非洲人(再再其他一些非洲人和其他所有

人))]}。他们因此断言，我们所有人的母系远祖住在非洲，叫做“非洲夏娃”。我曾提到，这个论断是有争议的。其他一些科学家声称，可以找到同样简便的家族树，这些树系最外面的分支出现在非洲以外的地方。他们还认为，伯克利小组之所以得到这个结果，部分原因是出在查找可能家族树的计算机的指令上。显然，查找指令无关紧要。也许大多数专家仍会把钱花在“线粒体夏娃是非洲人”上面，然而他们却不会有很大信心了。

对伯克利小组的第二个结论争议不大。不管线粒体夏娃居住在什么地方，他们都能估计出她生活的时间。由于已经知道了线粒体DNA的进化速度，因而你能给线粒体DNA趋异之树的每个分岔点标上一个大概的时间。联结所有女性的分岔点，即线粒体夏娃的诞生日是在15万～25万年前。

不论线粒体夏娃是不是一个非洲人，“我们的祖先来自非洲”都无疑是正确的，要避免在这个意思上可能发生的混乱，这是很重要的。线粒体夏娃是所有现代人类最近的祖先。她是智人(Homo sapiens)中的一员。在非洲和非洲以外的地方都曾经发现过早得多的人科直立人(Homo erectus)化石。而比直立人更早的能人(Homo habilis)和各种南方古猿属(Australopithecus)化石(包括新近发现的400多万年前的南方古猿化石)则仅在非洲发现过。因此，如果我们是在过去25万年内迁徙世界各地的非洲人的后裔，那么，这是非洲人的第二次大迁徙。有一批非洲人离开得更早，大约是在150万年以前，那时直立人迂回曲折地离开非洲，移居到中东和亚洲一些地方。非洲夏娃理论认为，并非不存在早期亚洲人，而是那些早期亚洲人没有留下后代。不论你怎样看待这个问题，如果回到200万年以前，我们都是非洲人。非洲夏娃理论还认为，即使回到仅仅几十万年前，现今存

活的人类也都是非洲人。如果有新的证据支持，有可能从在非洲所有现代线粒体 DNA 追溯到一个非洲之外的母系祖先(比如说“亚洲夏娃”)，同时又能赞同我们更古老的祖先仅发现于非洲。

此刻，我们假设伯克利研究小组是正确的，让我们研究一下他们的结论意味着什么，以及不意味什么。“夏娃”这个绰号已经产生了不幸的影响。一些热心人轻率地认为：她肯定是一个孤独寂寞的女人，是地球上惟一的女人，是最初的遗传瓶颈口，甚至是《创世纪》的一个证明！这完全是误解。“她是那个时代地球上惟一的女人”，“在她那个时代，人口比较少”，这两种说法都不正确。她的男女同伴也许既数量众多，而且生殖力旺盛。他们也许至今还有大量后代活在世上。但是因为他们与我们之间的联系在某一点上通过了一位男性，他们的线粒体的所有后代已经消失。同样，一个贵族姓氏(姓氏是与 Y 染色体联系在一起的，并且与线粒体的情形恰好相反，只由父子相传)可能消失，但这并不是说拥有这个姓氏的人就没有后代。他们或许会有数不清的后代，只不过不是通过父子相传，而是通过其他途径传下来。正确的说法仅能是：线粒体夏娃是离我们最晚近的一位纯粹母系的共同祖先，所有的现代人都是她的后代。必定有一名妇女能够符合这个结论。惟一的争论是关于她住在这里还是那里，是在此时还是彼时。她确实曾生活于某时、某地，这个事实是确定的。

这里还有第二种误解。这种误解更为普遍，甚至在从事线粒体 DNA 领域研究工作的领头科学家那里，我都曾经听到过。那就是相信“线粒体夏娃”是我们最晚近的共同祖先。这种误解的根源是对两个概念的混淆：一个是“最晚近的共同祖先”，另一个是“最晚近的纯粹母系的共同祖先”。“线粒体夏娃”是我们最晚近的纯粹母

系的共同祖先，然而还有很多其他途径可以延续后代，不仅仅是纯粹母系这一条线。 其他途径有成百万。 让我们回到关于祖先数目的计算中来(让我们忘却表亲联姻的复杂情况，它曾是前面争论的焦点)。你虽然有 8 位曾祖父母、外曾祖父母，但其中只有一位是纯粹母系的。 你虽然有 16 位高祖，但其中也只有一位是纯粹母系的。 即使允许表亲结婚减少了在某一代中祖先的数目，但是，与纯粹母系相比，确实还有更多、更多、更多成为祖先的途径。 当我们沿着遗传之河经过遥远的古代溯流而上，可能会有许许多多夏娃，许许多多亚当。 这是些焦点人物。 生活在 1995 年的所有人可能都是她或他的后代。 “线粒体夏娃”只是其中之一。 没有什么特别理由可以认为线粒体夏娃是所有这些夏娃和亚当中离我们最近的一位。 情况与此相反。 她被规定了一个特别的途径：在遗传之河中，我们由这个特定的途径成为她的后代。 与纯粹母系途径相并行的可能途径，数目非常巨大. 因此从数学上“线粒体夏娃”极其不可能是所有夏娃和亚当中距我们最近的一位。 它是一条特殊的单行道(只经母系遗传)。如果又是最近的途径之一，那将是一个了不起的巧合。

再有一点也多少使人感到兴趣，那就是我们最晚近的共同祖先更有可能是一个“亚当”，而不是“夏娃”。 一夫多妻比数男共一妻可能性更大，这是因为，仅从生理上说，男性能生育几百、甚至几千个孩子。 在《吉尼斯世界纪录大全》中，这一纪录已超过 1 000，创造这纪录的是以实玛利。 女性即使在理想条件下，最多也只能生育二三十个孩子。 女性的子女数较男性更平均。 少数男人的孩子可能多得荒唐可笑，但这就意味着另一些男人连一个孩子都没有。 如果有一个人完全不能生育，这个人更可能是个男人而不是女人；而如果有一个人拥有太多的后裔，这个人也更可能是个男人。 因此，人类最

为晚近的共同祖先，很可能是一个亚当，而不是一个夏娃。举个极端的例子，谁更可能是今日全体摩洛哥人的祖先？是以实玛利，还是他的某个不幸的妻妾？

我们可以得出以下结论：第一，必定存在着一位我们可称为“线粒体夏娃”的女性，她是所有现代人最晚近的纯粹母系共同祖先。第二，必定还有一个称为“焦点祖先”的人，其性别尚不为人知，却是所有现代人通过任何遗传途径而来的最近的共同祖先。第三，虽然线粒体夏娃和“焦点祖先”有可能是同一个人，但很不可能。第四，“焦点祖先”更有可能是男性，而不是女性。第五，“线粒体夏娃”很可能生活在25万年前。第六，对于“线粒体夏娃”生活于何地，尚存争议，但是从已报道的观点看，人们仍倾向于非洲。只有第五条和第六条要靠科学证据来检验，前四条只需借助常理进行推断即可得出。

但是，我曾说过，祖先们掌握着解开生命之谜的钥匙。非洲夏娃的故事只是一个更壮丽、更古老的史诗限于人类这一局部的缩微。我们要再次求助于基因之河——我们的伊甸园之河这一比喻。但是，我们会溯流而上穿越更为久远的时间跨度，比神话夏娃的几千年和非洲夏娃的几十万年，久远得不可同日而语。DNA之河沿着一条不间断的时间线路，途经我们的历代祖先，至少流了30亿年。

第三章　暗中为善

神创论具有持久的吸引力，其原因并不难找到。这并不是因为人们相信《创世纪》或其他有关部落起源的故事句句是真(至少我所见到的多数人不是)，而是人们自己发现了生命世界的美妙和复杂，并断定它“显然”是早已设计好的。一些神创论者认识到对他们的圣经教义来说，达尔文进化论至少提供了另外一种不同的学说。为此，他们常常采取一种稍稍高明些的反驳意见，他们否认存在进化中间环节的可能性。他们说：“××必定是由造物主设计好的，因为半个××一点用都没有。××的各个部分都是同时组合在一起的；它们不可能是逐步演化成的。”例如，我在开始写这一章的那天恰巧接到一封信。信是一位美国部长写来的，他原本是无神论者，但在读了《国家地理》杂志中的一篇文章后改变了看法。下面就是他来信中的一段：

　　这篇文章讲的是令人惊异的适应性问题：为了成功地

繁殖后代，兰花适应了周围环境。

我阅读这篇文章的时候，该物种的繁殖计谋勾起了我的兴趣。这一计谋需要一只雄黄蜂的配合。显然这种花与雌蜂十分相像，包括在适当的位置也有个小孔，诱使雄黄蜂与花朵交配，交配时，刚好够到花中的花粉。然后，雄黄蜂又飞到下一朵花重演同一过程，从而完成了异花授粉。吸引雄黄蜂的，首先是这种花所散发出的外激素(一种特别的化学引诱剂，昆虫常用以吸引异性)。花散发的外激素与雌黄蜂散发出的完全一样。我怀着兴趣将这篇文章的照片细细看了足有一分钟。于是，我怀着极大的震惊意识到，为使这种繁殖计谋发挥效用，从一开始它就必须完美无瑕。逐步达到这一境地是不可能的，因为如果兰花的外形和气味不都像雌黄蜂，如果没有一个适宜于与雄黄蜂交配的孔，或者孔内的花粉不能充分接触到雄黄蜂的生殖器官的话，那么整个计谋就完全不能成功。

我永远不会忘记当时那种身陷灭顶之灾的感觉。因为我突然省悟，一定有某种上帝以某种形式存在着，并且必定与生命形成的过程有着不断发展的关系。简言之，造物主上帝不是大洪水之前的神话，而是确实存在的。虽然很不情愿，我还是立即感觉到，我必须设法更多地去了解这位上帝。

毫无疑问，其他人转向宗教的过程各有不同，但是肯定有许多人的经验与这位部长相似。他们见到或读到过大自然的某些奇迹。在通常情况下，这往往会使他们对大自然充满了畏惧、惊奇，甚至崇

敬。更甚者，如像上述那位来信者，他们认定，这种具体自然现象——诸如蜘蛛网、鹰眼或翅膀，或者其他什么东西——不可能是逐级进化而成的，因为那些中间的、只形成一半的阶段根本毫无作用。本章的目的，就是要驳倒这种质难：复杂的装置要起作用的话，它就必须是完善的。顺便说一句，兰花是达尔文偏爱的例子之一，他专门写了一本书，以阐明通过自然选择而逐步进化的原理在解释兰花用以吸引昆虫为它授粉的“各种设计”时经受的考验。

那位部长的质难关键在于这一断言：“为使这种繁殖计谋发挥效用，从一开始它就必须完美无瑕，不存在达到这一步的中间阶段。”关于眼睛的进化，也可以提出同样的质难——实际上这样的质难已经频频被人提出。在本章里我还会回到这个话题。

当我听到这种论断的时候，发言者的自信每每使我感到惊奇。我想请问这位部长，您凭什么如此肯定酷似黄蜂的兰花(或者眼睛，或者其他东西)的各个部分必须从一开始就完美无缺、并且在准确的位置上，否则就毫无用处呢？您对这件事实际上有过片刻的思考吗？您确实知道兰花(或者黄蜂，或者黄蜂用以观看雌性和兰花的眼睛)最初的情形吗？是什么使您敢于断言黄蜂是如此难于受骗，以至于兰花必须在所有方面都与它十分相像才行呢？

请你回想一下，上次你偶然被某种相似所欺骗的情形。也许，你曾在大街上向一个陌生人脱帽致礼，然而，你却错把她当成熟人了。电影明星们常用替身演员代替他们从马背上坠地或者跳下悬崖。通常，替身演员与真正的明星只是“形似”，但快速动作摄影使替身演员完全可以哄骗住观众。杂志上的一张图片就能激起男人的性欲。图片只不过是印在纸上的油墨而已。它只是平面的，不是立体的；图片的大小不过几十厘米。它甚至可能仅是由几道线条勾

勒出的漫画，而不是非常逼真的照片。尽管如此，它还是能引起男人的性欲。大概一只快速飞行中的雄黄蜂在试图去与雌黄蜂交配之前所见到的雌黄蜂只能是惊鸿一瞥。它注意的只是少数几个关键的刺激因子。

我们有各种理由认为黄蜂可能比人更容易受骗上当。刺鱼就是如此，而鱼的脑子比黄蜂大，视力也比黄蜂好。雄刺鱼的腹部都是红色的，它们不仅恫吓其他雄性，甚至也恫吓有"红肚子"的相似的东西。我的老师，曾获诺贝尔奖的行为学家尼科尔·廷博根(Niko Tinbergen)曾讲过一个有名的故事。一辆红色邮车从他的实验室窗外驶过，鱼缸中的红刺鱼都冲向窗户那一侧，起劲地"恫吓"红色邮车。成熟的雌刺鱼腹内充满鱼卵，鼓胀的大肚子非常显眼。廷博根发现，一个极其粗糙的、略现细长的银白色模型，尽管以我们的眼光看，一点不像刺鱼，但由于它有个鼓鼓的圆"肚子"，所以引得雄刺鱼对它作出全部交配动作。在廷博根创建的研究院里，最近用所谓的"性炸弹"做过一些实验。"性炸弹"是个梨形物体，圆圆的、鼓鼓的，但并不长。无论怎么看，没有人会把它想像成鱼的样子。然而，它却能更有效地激起雄鱼的性欲。刺鱼"性炸弹"是超级刺激因子——比实物(雌鱼)更有效的刺激因子——的一个典型例子。还有一个例子。廷博根发表过一张照片，在照片上，一只蛎鹬正欲伏到一只像鸵鸟蛋那么大的蛋上去。鸟类的脑子比鱼的大，视力也比鱼好，当然比黄蜂就更不用说了。尽管如此，蛎鹬显然"认为"，一只像鸵鸟蛋那么大的蛋是最好的孵化对象。

鸥、鹅以及其他在地面筑巢的鸟类对于滚到巢外的蛋都有一种固定不变的反应。它们用喙的下缘去够巢外的蛋，将它拨回巢内。廷博根和他的学生们发现，鸥不仅这样对待自己的蛋，也同样对待母鸡

下的蛋，以至圆木棒或野营者丢弃的易拉罐。 幼银鸥从父母那里取得食物。 它们啄父母喙上的一个红点，刺激它们的父母从自己鼓胀的嗉囊中反刍出一些鱼来。 廷博根和他的同事表明，用硬纸板做一个幼鸥父母头部的简单模型，能非常有效地引起幼鸥的乞食行为。真正需要的，只是一个红点而已。 对于幼银鸥来说，它们的父母就是那个红点。 它们也许能看到父母身体的其他部分，但似乎并不重要。

这种明显有局限性的视力，不仅限于幼鸥。 成年黑头鸥的头脸是黑色的，十分显眼。 廷博根的学生罗伯特·马什(Robert Mash)将木制的鸥头模型涂黑，用来研究黑脸对其他成年鸥有多大重要性。 每个木鸥头钉在一根木棍顶端，木棍与装在一个盒子里的电动机相连。通过遥控，马什可以使假鸥头上升下降和左右转动。 他将盒子埋在一个鸥巢附近，木鸥头降至沙土之下，不为真鸥看到。 以后，他每天都来到鸥巢附近的一个掩蔽体内，观察巢里的鸥对升起来并左右转动的模型木鸥头有什么反应。 黑头鸥对木鸥头和木鸥头转动的反应就如同看到了真鸥一样，尽管这不过是装在木棍上的一个模型，既没有身体，又没有腿、翅膀和尾巴，除了机械地、毫无生气地升降、转动之外，既不能发声，又不会走动。 看来，对于黑头鸥来说，脱离了躯体的一张黑脸简直就是一个可怕的邻居，至于有没有身体、翅膀或其他部分，都无所谓。

为了进入隐蔽地点去观察这些鸟，马什利用了久为人知的鸟神经系统的局限性：鸟类天生不是数学家。 世世代代的鸟类学家都利用这个局限性。 他们这样做：两个人走进掩体，然后其中一个人离去。 如果不要这么个花招的话，那些鸟就会对这个掩体保持警惕，“知道”有人进了掩体。 但是，如果它们看到有一个人离开了，它们就“认为”两个人都走了。 如果鸟连一个人与两个人都分不清的

话，那么，雄黄蜂可能被长得不完全像雌黄蜂的兰花所蒙骗，难道还是令人吃惊的事吗？

在这方面，还有一个关于鸟的故事，但这是一出悲剧。火鸡妈妈是她的孩子们的凶悍的守护者。她们必须保护自己的孩子免受黄鼠狼和食腐肉的家鼠等“强盗”的袭击。火鸡妈妈惯用的区别入侵者的方法，既简单粗暴又令人惊愕：攻击任何在自己巢穴附近活动的东西，除非它能发出像小火鸡那样的叫声。这是奥地利动物学家沃尔夫冈·施莱特(Wolfgang Schleidt)发现的。有一次，施莱特看到一只火鸡妈妈凶狠地咬死了她所有的孩子。原因很简单，也很不幸：它聋了。对于火鸡的神经系统来说，掠夺者的定义就是“不能发出像小火鸡叫声的活动物体”。因此，尽管那些小火鸡不仅看起来像小火鸡，动作像小火鸡，并且像小火鸡那样充满信任地跑向它们的妈妈，却成为它们妈妈对掠夺者所下严格定义的牺牲品。她为了保护她的孩子免受袭击，而把它们全部杀了。

在有些昆虫之间，也会发生像火鸡这样的悲剧。在蜜蜂的触角上有一些感觉细胞只对油酸(一种化学物质)敏感(它们也有对其他化学物质敏感的细胞)。腐烂的蜜蜂尸体会产生油酸，刺激蜜蜂作出“殡葬员动作”，把死尸从蜂巢中清除出去。实验者往一只活蜜蜂身上涂了一滴油酸，虽然这只蜜蜂明显地还活着，还是蹬着腿挣扎着被拖出去，和死蜜蜂扔在一起。

昆虫的脑比鸡脑或者人脑要小得多。昆虫的眼睛，甚至蜻蜓的大复眼，其敏锐性也比人眼或鸟眼差得多。除此之外，我们知道，昆虫眼睛观看世界的方式与我们的眼睛完全不同。伟大的奥地利动物学家卡尔·冯·弗里奇(Karl von Frisch)在青年时代就发现，昆虫看不见红光，却可以看见紫外光。紫外光是昆虫独特的色彩，我们看

不见。昆虫的眼睛往往易被东西的“扑动”所吸引，“扑动”看来部分地替代了我们所说的“形状”，至少对快速飞翔的昆虫来说是如此。人们曾看见雄蝴蝶向从树上飘落下来的死树叶“求爱”。我们看到雌蝴蝶拍打着一对大翅膀上下飞舞，一只正在飞行的雄蝴蝶看见了它，并出于对“扑动”的高度注意，向它求爱。你可以用一盏频闪光灯来骗它上当。频闪灯本身并不动，只是一闪一闪地发光。如果你把闪光频率调得对，雄蝴蝶就会像对待另一只正以那种频率振翅飞行的蝴蝶那样对待频闪灯。条纹对于我们来说是静态的图案，而在飞过的昆虫眼中，就成了某种“扑动”的东西，可以用闪光频率相同的频闪灯来模仿。昆虫眼中的世界与我们看到的世界大相径庭，因而，以我们自己的经验为根据，去讨论兰花应如何“完美无瑕”地模仿雌黄蜂的形态，只不过是人们的臆断罢了。

黄蜂本身就是一个经典实验的实验对象。这实验最初是由伟大的法国博物学家简·亨利·法布尔(Jean-Henri Fabre)做的，后来为许多人重复，其中也包括廷博根研究院的成员。雌泥蜂带着因被她蜇过而瘫痪的猎物回到它的土巢。它把猎物放在土巢外面，然后自己钻进去。显然它是要检查一下里面是否一切正常。然后，它再出来把猎物拖进去。在雌泥蜂钻入土巢后，实验者将猎物从它所放的位置移开了几英寸。泥蜂重新出现的时候，发现猎物已经不在了，但很快便又找到了。然后，它再次把猎物拖到土巢入口。这时离它检查蜂穴内部仅仅过了几秒钟。我们认为它实在没有什么理由不按惯例进行下一步——把猎物拽进蜂穴，完成这一过程。但是，它的程序已经重新调到前一个步骤上了。它认真负责地将猎物再一次留在土巢入口外边，重新进到里面察看一番。实验者可以毫不掩饰地把这个游戏重复40遍，直到实验者自己感到厌倦为止；而泥蜂的表现

则像一台程序已被定在早期步骤的洗衣机一样，也不“知道”这些衣服已经被不停地洗了40次。杰出的计算机科学家道格拉斯·霍尔斯塔特(Douglas Hofstadter)用一个新词“泥蜂式的”来形容这种不灵活的、无头脑的自动性。因此，至少在某些方面黄蜂是很容易上当的。这是一种与兰花所设计的完全不同的愚弄。无论如何，我们必须谨防用人类的直觉来断言“为了使这种繁殖策略发挥效用，从一开始它就必须完美无瑕。”

我可能把说服你相信黄蜂很容易受骗这件事做得太好了。而你呢，可能正在对我所说的产生怀疑，而且想法与我所提到的写信人的疑问完全相反。如果昆虫的视力真这么差，黄蜂真这么容易受骗，为什么兰花还伤脑筋使自己的花长得如此像黄蜂呢？黄蜂的视力并不总是这么差。在有些情况下，黄蜂的视力就非常好：比如，在长时间寻食飞行之后，确定它们蜂穴的位置的时候。廷博根观察了一种捕食蜜蜂的泥蜂(Philanthus)的行为。他等一只泥蜂落入了蜂穴。在它重新出来之前，廷博根迅速地将一些“标志物”，诸如细树枝、松果等，放在蜂穴入口周围。然后他隐蔽到一旁，等待泥蜂飞出来。它出来以后，先围着蜂穴飞了两三圈，好像是在脑子里给这个地点“照相”，然后飞去觅食了。等它飞远以后，廷博根就把细枝和松果移到几英尺以外。泥蜂飞回来的时候，找不到它的蜂穴了。它在与放细枝和松果的新地方相应的那一点上钻入沙土中。从一方面讲，泥蜂再次“受骗”了，但是另一方面，它的视力此次却受到了我们的尊敬。看起来，它先前的绕圈飞行确实是“在脑子里照相”。它好像是认识了细枝和松果的图形，或“完形”。廷博根反复试验了很多次，采用了各种不同的标志物(比如用松果摆成一圈等)，结果都一样。

现在我们介绍廷博根的学生杰拉德·贝仁德(Gerard Baerends)所做

的实验，这个实验与法布雷的“洗衣机”实验适成鲜明对比。贝仁德使用一种泥蜂(Ammophila campestris)做实验(法布尔也研究过这种泥蜂)。这种泥蜂可谓是非同寻常的“积极主动的食品供应者”。大多数泥蜂在地穴中放入食物，产上一粒卵之后，便把穴封起来，让幼虫自己取食。Ammophila 则不同。它就像鸟一样，每天要回到穴中去检查幼虫的生长情况，并根据需要供食。仅此还没有什么特别值得注意的。但是雌蜂每次总要巡视两至三个穴。一个穴中有一只比较大的、近乎成熟的幼虫；另一个穴中是一只小的、新近孵化的幼虫；可能还有一个，是一只虫龄和大小介于上述两者之间的幼虫。很自然地，这三只幼虫对食物的需求量是不同的，它们的母亲会根据它们各自的情况提供食品。通过一系列繁杂的实验，包括将穴中的幼虫对换，贝仁德终于证明，蜂妈妈确实记住了每个穴不同的食物需要量。这看起来很聪明，但是贝仁德还发现，它也并不聪明，有其非常怪异并且与众不同的愚蠢之处。蜂妈妈每天清晨的第一件事，就是对它所有有幼虫的穴巡视一周。蜂妈妈正是根据黎明巡视各穴时估量的情况决定它这一整天的供食行为。贝仁德在泥蜂妈妈黎明巡视之后随意地频繁倒换各个穴中的幼虫，都未使泥蜂妈妈的供食行为有任何改变。好像只有在清晨巡视时，它才启动“巢穴评估装置”，此后，为了节约用电，在余下的时间里就把它关了。

一方面，这个故事向我们提示，在蜂妈妈的脑中有专司计数、估量甚至计算之职的复杂装置。现在，人们很容易相信黄蜂的脑确实只在兰花与雌黄蜂在细节上完全相像的情况下，才会上当受骗。但是，同时，贝仁德的实验结果还提示，黄蜂具有选择性“失明”和“受骗”的本领，这与前述洗衣机实验如出一辙。这又使人们相信，兰花与雌黄蜂大致相像也同样有效。我们应该汲取的总的教训

就是，永远不要用人类的眼光来评价这类事物。千万别说："我不能相信某某是逐渐选择进化过来的"；如果有什么人这么说，你也千万不要当真。我把这种谬误称为"来自个人的多疑的论点"。

我所抨击的是这样的观点：某某事物的逐渐进化是不可能发生的，因为某某事物要起作用，它显然必须从一开始就是完美无瑕的。到现在为止，我在回答这种观点时，已经采用大量的事实，说明黄蜂及其他动物眼中的世界与我们眼中的世界是非常不同的。在任何情况下，我们都很容易干蠢事。但是，我还有其他一些更有说服力、更普遍的论点需要进一步阐发。让我们用"一碰就坏"这个词来形容一种装置，这种装置要想发挥效用，就必须完美无瑕，这正像给我写信者所断言的模拟黄蜂的兰花。我发现，实际上很难想像一种毫不含糊的"一碰就坏"装置，这一点是很有意义的。飞机不是一碰就坏的。因为，尽管我们都更愿意把我们的生命委托给一架所有零件都处于完善工作状态的波音 747 飞机，但是，一架飞机即使主要的零部件(例如一台或两台发动机)出了故障，它仍然能够飞行。显微镜不是一碰就坏的，因为虽然一台劣质显微镜只能提供模糊的、灰暗的图像，但是用它来观察细小物体总比没有显微镜好得多。收音机也不是一碰就坏的，如果它在有的方面存在缺陷，它可能保真度差些，声音听起来尖细、失真，但是你仍然能够听懂话语的意思。我曾凝视窗外足有 10 分钟，想找出哪怕一件人造的一碰就坏的装置的恰当例子，结果只想出了一个：拱门。拱门有某种近乎一碰就坏的性质。就是说，一旦两边合拢之后，它有很高的强度和稳定性。但在合拢之前，两部分都不能稳固地竖立。建造拱门的时候，必须借助支架撑住。支架在拱门完工之前起暂时支撑的作用；造好之后就可以将支架拆走，拱门便可长久地稳固地屹立在那里了。

在技术领域，我们没有理由说一个装置原则上不应是一碰就坏的。工程师们有权在他们的绘图板上设计各种装置。如果只完成一半，便毫无用处。然而，即使在工程领域，我们也很难找到一个名副其实的一碰就坏的装置。我相信对有生命的装置来说，这种说法就更是千真万确了。让我们来看看在生物界中神创论者的宣传所推出的一碰就坏的装置吧。黄蜂和兰花仅仅是迷人的拟态现象中的一个例子。大量的动物和某些植物因为像其他一些物体(通常是其他动物或植物)而得益。几乎生活的每个方面都有某些地方因拟态而增强或搅乱了。

为了捕食，老虎和豹子在阳光斑驳的林地里偷偷地接近猎物时，几乎难以被察觉；鮟鱇伏在海底，它们的体表与海底极相似，以一根长长的“钓鱼竿”来引诱猎物，“鱼竿”头上还有一个酷似蚯蚓的诱饵；荡妇萤火虫模拟另一种萤火虫求偶时的闪光模式，把雄萤火虫引来后吃掉；长有剑齿的鳚鱼模仿酷似专门给大鱼清扫卫生的另一种鱼，一旦获准接近大鱼之后，就会从大鱼的鳍上狠咬一口。

为了避免被吃掉，被捕食的动物长得像各种各样的东西，诸如树皮、树枝、鲜绿的树叶、卷曲的枯叶、花、玫瑰花的刺、海藻叶子、石头、鸟粪，以及众所周知的有毒动物。

为了把捕食者引离幼仔，反嘴鹬以及其他多种在地上筑巢的鸟类，会模仿折断翅膀的鸟的姿势和步态。

为了保护自己的卵，杜鹃的卵与它寄放的巢中的鸟卵相仿；一种口育鱼类的雌鱼在两胁“画了”许多假卵，用以吸引雄鱼将真卵吸入嘴中孵育。

所有的事例，都诱使人们认为模拟必须完美无瑕才行。在黄蜂兰花这个特别的例子中，我列举了黄蜂及其他受拟态所骗者在知觉方

面的许多缺陷。实在说，在我看来，兰花对黄蜂、蜜蜂或者苍蝇的模拟并不那么神妙。对我的眼睛来说，叶蝽对树叶的模仿要精确得多，这可能是因为我的眼睛更像叶蝽所防范的捕食者(大概是鸟类)的眼睛。

认为模仿必须完美无瑕才能有效的观点，在更普遍的意义上也是错误的。无论捕食者的眼力可能有多么好，然而观察条件却不会总是很理想。此外，观察条件几乎总是从非常坏到非常好连续变化的。试想某件你非常熟悉的物体，熟悉到你已经不可能把它错当成任何其他什么东西。或者试想一个人，比如一个亲密朋友，你与她是如此亲密、如此熟悉，以至你永远不可能把她错认成另外一个人。但是，请你想像她正从很远的地方向你走来。在距离非常远的时候，你会根本看不见她；在距离非常近的时候，你能看清她的五官、每一根眼睫毛、每一个毛孔。在这两者之间不会有突然的转变。可辨认性总是逐渐清晰或逐渐模糊的。步兵军事操典中写道："在200米处，可以清楚地看到身体的各部分；在300米处，脸庞的轮廓模糊不清；在400米处，看不到脸；在600米处，脑袋是一个点而身体是个锥形。"在你的朋友逐渐接近你的过程中，毫无疑问你会突然把她辨认出来。但在这个例子中，"突然认出她"的可能性随距离的增加或减少而逐渐减小或增大。

无论从哪个方面来说，距离都造成了可见度的逐渐变化。从根本上来说，可见度是渐变的。无论模仿者与原型之间相像程度如何，无论它们是非常相像还是完全不像，都有一个会使捕猎者眼睛受骗的距离。稍小于这个距离，捕食者的眼睛就不太可能受骗。于是，在进化过程中，自然选择会倾向于相似程度的逐渐改进，这使捕猎者受骗的临界距离逐渐减小。这里，我用了"捕猎者的眼睛"这

种提法，来取代“要想蒙骗过的眼睛”。在有些情况下，会是猎物的眼睛、养父母的眼睛、雌鱼的眼睛，等等。

我曾经在对儿童发表演讲时示范过这种距离效应。我在牛津大学博物馆工作的同事乔治·麦加文(George McGavin)博士为我制作了一个“树林模型”。模型上点缀着树枝，掉下来的树枝、枯叶和苔藓。他巧妙地在模型上布置了几十只死昆虫，其中有一些(如金龟甲)非常显眼；另一些，如竹节虫、拟叶蝴蝶等，有精妙的伪装；还有一些昆虫，比如棕色的蟑螂，则是介于这两者之间。我从听众中请出几个孩子，让他们慢慢地朝我的模型走来，一边走一边寻找模型里的昆虫，找到一只昆虫就大声说出来。当孩子们离模型足够远时，甚至连那些最显眼的昆虫他们都看不见。随着他们渐渐接近模型，首先看到的是那些显眼的昆虫，然后是那些中等可见度的昆虫(比如蟑螂)，最后才能看见那些巧妙伪装的昆虫。至于那些伪装得最好的昆虫，孩子们走到很近的距离内，瞪着眼睛仔细看也找不到。当我把那些昆虫指给他们看时，孩子们惊诧得张大了嘴。

距离并不是能够用于做出这种论证的惟一的渐变因素。微弱的光线是另外一个因素。在深夜，几乎什么都看不见，只要略有点相像的模拟物就能骗过检查。在正午时分，只有细微之处都极相像的模拟物才可能不被察觉。在这两个时刻之间，在黎明和黄昏，在昏暗的或是乌云密布天气里，在浓雾或倾盆大雨中，可见度就会发生平滑而连续的变化。这里又一次出现这样的情况：自然选择，倾向于相似程度的渐臻完善。这是因为，对任何给定的相似程度，必有一个相应的能见度水平。在这个能见度下，这样的相似程度就会暴露出与原型的差别。在进化过程中，相似程度的逐渐改善会因使敌害受骗的临界光照越来越亮而给生物提供生存优势。

另一个类似的渐变因素，是观察的角度。一只伪装的昆虫，不管它像与不像，总有某个时候会被捕猎者眼角一扫就看到。在别的时候，它又会在正面直视下被发现。在外围必定存在一个视角，在这个视角下，连最差劲的模拟物也能不被发觉。必定还存在一个中央视角，即使是最高明的模拟者也岌岌可危。在这两者之间，是视角稳定而连续的变化。任何一个给定的模拟精度水平，都会有一个临界角度，在这个角度上，相像程度只要稍微提高一点或降低一点，结果便会大不一样。在进化过程中，倾向于相似的质量稳步提高，因为骗过敌害的临界视角会越来越正。

敌人的眼力和智力可以被视为另一个渐变因素。这一点我在本章的前面曾经提到。在模拟物与原型之间，对任何一定的相似程度，都可能有一种眼睛会被模拟物所蒙骗；也都会有另一种眼睛不被蒙骗。仍然是这样，在进化过程中就倾向于相似程度的稳步提高，因为这样能骗过眼睛更加精致敏锐的捕食者。我这样说，并不意味着捕食者的眼睛与猎物的相似程度齐头并行地进化，虽然这种情况有可能发生。我的意思是，总有什么地方，存在着眼力好的捕食者，也存在着眼力差的捕食者，所有这些捕食者都构成了威胁。低水平的模仿只能骗过眼力差的捕食者；高水平的模仿却能蒙骗几乎所有的捕食者。在这两者之间，也有一个平稳而连续的过渡。

说到“坏”眼力与“好”眼力，又使我想起神创论者最喜爱的那个谜。一半视力有什么用？自然选择怎能倾向于不完美的眼睛呢？前面我曾探讨过这个问题，还列举了一系列处于中间状态的眼睛，它们都实际存在于动物的各个门。在这里，我要把眼睛与我已经建立起来的“渐变学说”的规程结合起来。对于要用到眼睛的任务，存

在着一个连续的梯度。此刻，我正在用我的眼睛辨认计算机屏幕上显示的字符。做这种事，你要有一双视力良好、高度敏锐的眼睛。我已经到了不戴老花镜就不能阅读的年纪了，不过眼下我的眼镜度数还很浅。随着年龄的增加，我所用的眼镜的度数也会逐渐加深。我会发现，没有眼镜，我将渐渐地越来越难于看清近处细小的物体。这里我们又有了一种连续性，那就是年龄的连续性。

任何正常人，不论他多么老，视力都比昆虫好。有些工作可以由视力较差甚至几乎失明的人来完成。你的视力模糊，却能打网球，因为网球比较大，即使焦点没对准，你也能看清它的位置和运动情况。尽管用我们的标准来衡量，蜻蜓的眼力很差，但是用昆虫的标准来看，蜻蜓的眼力是好的；蜻蜓能够捕食飞行中的昆虫，这跟我们击打网球一样容易。视力很差的眼睛照样能承担避免走路撞壁、失足坠崖或不幸落水的任务。更差的视力，能发现有一片阴影掠过头顶，那可能是云朵飘过，也可能是捕食者飞过。视力极差的眼睛还能分清白昼与黑夜，这也有用，其他用途不说，它可以协调繁殖季节，还可以知道什么时候该睡觉了。要用到眼睛的任务有一连串。对任何一种眼睛来说，不管是视力敏锐的还是差劲的，都有某种相应的任务，视力只要稍有改善就会大不相同。因此，这就不难理解，眼睛从原始的、低级的早期阶段，经过平稳的、连续的中间过渡，逐渐进化到完善的程度，如我们见到的鹰眼或青年人的眼睛。

因此，神创论者的问题——“一半的眼力有什么用？”——是一个分量很轻的问题，一个非常容易回答的问题。一半的眼力正好比49%的眼力好 1%，而49%的眼力已经比48%要好，因此差异是有意义的。另一个分量显得较重的问题隐含于如下说法之中：“作为

一个物理学家*，我简直不能相信，对于像眼睛这么复杂的器官，有足够的时间从无开始进化到目前的地步。你真的认为已经有了足够的时间吗？”两个问题都来自“个人怀疑论”的论点。听众自然是要有一个答案，我则还是要回到地质年代的绝对量值上去。如果以一步代表一个世纪，那么全部公元纪年的时间也就缩短为板球的一掷。照这个比例，如果你要回到多细胞动物的起源，得从纽约走到旧金山。

现在可以看出来，要驳倒地质年代不够久远的说法，简直是用汽锤去砸花生米。从东海岸跋涉到西海岸，生动地表达了眼的进化可利用的时间。但是，由一对瑞典科学家丹·尼尔森(Dan Nilsson)和苏珊娜·皮尔格(Susanne Pelger)所做的最新研究表明，只要那段时间的几近荒唐的一小段就足够了。顺便提一句，当一个人说“眼睛”的时候，他往往是暗指脊椎动物的眼睛。然而在许多无脊椎动物中，适用的、能够形成图像的眼睛，已经各自独立地、从头开始进化了40～60次。在这40次以上的独立进化中，至少发现了9种有明显区别的机理，包括针孔式眼睛、两种照相机镜头式的眼睛、反射曲面(“碟形卫星天线”)式眼睛，以及好几种复合眼。尼尔森和皮尔格集中精力研究了照相机镜头式的眼睛，例如已经很发达的脊椎动物和章鱼的眼睛。

你怎样着手估计一定数量的进化变异所需要的时间呢？我们必

---

* 我希望这不至于失礼。为了支持我的观点，我从《科学与基督教信仰》一书中摘录了一段话。作者，杰出的物理学家约翰·波尔金霍恩(John Polkinghorne)牧师称：“有的人，像理查德·道金斯(Richard Dawkins)，可以向人们展示具有说服力的生动描述，说明一些很小的差异如何经过筛选和积累而发展形成大的差别。但是，出于本能，一个物理学家却愿看到这样的估计，不管它多么粗略，即：从一个对光略有敏感的细胞，进化成一个完全成形的昆虫眼睛需要经过多少步骤，以及发生这些必要的突变大约需要经过多少代。”——原注

须找到用于度量每一步进化规模的单位。用百分比变化来表示已到达的进化水平，是合情合理的。尼尔森和皮尔格采用1%作为单位来计量解剖学上量的变化。这只是一个方便的单位而已，就像“焦”被规定为完成一定数量的工作所需要的能量。当所有的变化都是发生在一维的时候，使用1%作为单位是最简单的。以下面这种不大可能发生的情况为例：如果自然选择倾向于极乐鸟的尾巴不断变长，那么这种鸟的尾巴从1米长进化成1 000米长需要经过多少步呢？尾巴长度增加1%，不会引起粗心的观察者的注意。然而，只需经过少得令人吃惊的步数就可以使尾巴进化到1 000米长——不到700步。

尾巴从1米长进化到1 000米长，这很好说(但是却非常荒谬)，但是，怎样在相同的坐标上为眼睛的进化定位呢？问题在于，对于眼睛来说，在许多不同的部位有许多不同的事情并行发生。尼尔森和皮尔格的任务，就是设计出眼睛进化的计算机模型来回答以下两个问题。第一个问题我们在前几页中一次又一次地提出过，而他们利用计算机提出就更为系统化：从平整的表皮到完全的“照相机式眼睛”，是否存在平稳的渐进变化，即每一个中间类型都是一种改进？(自然选择不能“下山”，即使在山谷那边有一座诱人的更高的山峰，也不能走下坡路，这与人类设计者不同。)第二个问题，也就是我们在本节开始时提出的问题，完成这些必要的进化演变量需要多长的时间？

尼尔森和皮尔格没有试图在计算机模型中模拟细胞的内部工作情况。他们的工作是在创建了一个单个光敏细胞(把它称为光电池也无妨)之后开始的。将来最好是再做一个计算机模型，从细胞内部的层次上展示第一个活的光电池是怎样从一个最初期的、最普通的细胞一步步改进而来。然而，必须有个起点，而尼尔森和皮尔格的起点是

在发明了光电池之后。他们是在组织水平上开始工作的：即，他们是在由细胞组成的组织这一水平，而不是在单个细胞水平进行工作。皮肤是一种组织，肠壁是组织，肌肉和肝脏也是组织。各种组织在随机突变的影响下发生各种变化。一片片的组织可以变大，也可以变小，它们可能变厚或变薄。像晶体组织这样的透明组织，它们能够改变局部的折射率(即使光线弯折的能力。)

模拟眼睛比之模拟诸如猎豹飞奔的腿，其妙处就在于，利用基本的光学定律很容易测定其功效。眼睛用一个二维截面图表示，计算机很容易以单个的实数算出它的视觉敏锐度或空间分辨能力。用相应的数字形式表示猎豹的腿(或脊柱)的功效要难得多。尼尔森和皮尔格从一块平展的视网膜开始。视网膜位于平展的色素层之上，在视网膜上又有一层起保护作用的透明层。透明层的折射率能够产生局部随机突变。然后，它们让这个模型本身以随机的方式变形，前提是任何变化必须是小变化，而且必须对前一个变化有改进。

结果很快就出来了，而且很明确。随着视力敏锐程度的稳定提高，直接导致了以下的变化：开始时是平面结构，随后变成浅浅的凹面，一直到不断加深的杯状体，眼睛模型本身的变形情况都在计算机屏幕上显示出来。然后，人们又看到，透明层变厚，充满了整个杯状体，它的外表面均匀地膨凸，变成曲面。在这以后，几乎像变魔术一样，这透明填充物的一部分又浓缩成一个具有更高折射率的局部球形小区。该区的更高折射率并不是均匀的，而是呈梯度变化的，因此这个球形区是个卓越的“分级折射率”透镜。对于制造透镜的人来说，“分级折射率”透镜是陌生的，但在生物的眼睛中却很常见的。人类通过把玻璃磨成一定的形状来制造透镜。我们还制造复合透镜，比如昂贵的照相机镜头。这种镜头包括若干个透镜，但是每

一个透镜都是由均匀一致的玻璃制成的。与此相反，“分级折射率”透镜却具有连续变化的折射率。典型的情况下，越接近透镜中心处，折射率越高。鱼眼就是“分级折射率”透镜。人们很早就知道，当焦距与半径之比达到特定的理论最适值时，“分级折射率”透镜就得到了畸变最小的效果。这个比值叫做马希森比例(Mattiessen's ratio)。尼尔森和皮尔格的计算机模型与马希森比例准确相符。

现在，让我们看一看整个这一进化过程需要多长时间。为了回答这个问题，尼尔森和皮尔格必须对自然种群做一些遗传上的假设。他们需要给模型提供一些合理的量值，如遗传率。遗传率用来表示变种受遗传控制的程度。常用的测定遗传率的方法，是将单卵孪生子(他们的遗传物质完全相同)的相像程度与普通孪生子作比较。一项研究发现，在男人中，腿长的遗传率为77%。遗传率为100%意味着什么呢？你测量一位单卵孪生子的腿长，就可完全知道另一位单卵孪生子的腿长，即使他们是被分开来抚养也是一样。遗传率为0%意味着，两位单卵孪生子的腿长之间，与一定环境下特定人群中任何一个人相比，并无更大的相似程度。人类其他方面的遗传率的测试结果为：头宽95%；坐高85%；臂长80%，身高79%。

遗传率往往高于50%。因此，尼尔森和皮尔格感到，给他们的眼睛模型设定遗传率为50%是稳妥的。这是一个保守的，或者说是一个“悲观的”假设。与一个更接近实际的假设(比如70%)相比，悲观的假设会使估算出的眼睛进化所需时间更长些。他们情愿自己的估计失之过长，因为像眼睛这样的复杂器官，进化时间如果估计得过短，人们会从直觉上怀疑它的准确性。

出于同样的原因，对于变异系数(即典型情况下，在群体中发生变异的几率)和选择强度(即由于视力改进所造成的生存优势的量值)，

他们都选取了保守的数值。他们甚至走得更远，假设每个新一代每一次只在眼睛的一个部分发生改变；眼睛不同部分同时发生变化的情况也被排除，因为这会大大加速进化。然而，尽管采取了这些保守的假设，从平展表皮进化到鱼眼所用的时间也很短：不到40万代。对于我们正在讨论的小动物，可以假设每年一代，因此，进化到优良的“照相机式眼睛”所需时间不足50万年。

有了尼尔森和皮尔格的研究结果，在动物界中，“眼睛”已经有过不下40次各自独立的进化，也就不足为奇了。有足够的时间供它在任一谱系之内从零开始连续进化1 500次。给小动物设定了每一代的长度之后，眼睛进化所需时间，远没有人们轻易相信的那么久，对于地质学家来说，它短得无法计量！在地质年代上，这只不过是个瞬间而已。

暗中为善。进化的一个主要特征是它的渐进性。这是一个原则而非现实。进化过程的某些片断可能发生，也可能不发生突然转向。快速的进化可能会有间断，甚至突然发生大突变，比如使孩子与其父母都不相像的重大变化。肯定还存在突然的物种灭绝——这可能是由大的自然灾害引起，比如彗星撞击地球。发生这样的事件之后，就会留下真空，有待快速发展的替补队员来填补，就像哺乳动物取代了恐龙一样。实际上，进化很可能并非总是渐进的。但是，在使用进化来解释像眼睛这样复杂的、显然设定好的物体是怎样成为现实时，它必须是渐进的。因为如果在这些情况下进化不是渐进的，它就完全失去了任何解释力。在这些情况下，没有了渐进性，我们就回到了魔法，而魔法与全无解释是同义语。

眼睛，以及黄蜂授粉的兰花给我们留下的印象是它们不可能发生。由于偶然的运气它们自发组合的可能性，在现实世界中是很小

的。一小步、一小步地逐渐进化，每一步都是幸运的，但又不是太幸运，这就是谜底。但是，如果它不是渐进的，它就不是谜底了，只是重述了一遍谜语而已。

有时人们会苦苦思索，这渐进的中间产物可能是什么样的？这些又将是对我们智能的挑战，但是，如果我们想像不出，那纯粹是我们智力上的问题。这并不能证明没有过渐进的中间产物。在思考渐进的中间产物方面，对我们智能最大的挑战之一，是蜜蜂那备受称颂的“舞蹈语言”。这“舞蹈语言”是由著名的卡尔·冯·弗里希的经典实验工作发现的。在这里进化的最终产物看起来是太复杂、太精巧了，它与我们平常料想得到的一只昆虫所能做的事相去太远了，以致我们很难想像中间产物会是什么样子。

蜜蜂以一种仔细编码的舞蹈为手段互相转告哪里有鲜花。如果它们所需要的食物距蜂巢很近，它们就跳“圆形舞”。这只是使其他蜜蜂兴奋起来，争先恐后地在蜂巢附近搜索。这不特别奇怪。非常奇特的事情发生在食物离蜂巢很远的情况下。发现了食物的蜜蜂表演的舞蹈，我们称为“摇摆舞”，用姿势和时间长短告诉其他蜜蜂食物的方位和距离。摇摆舞是在蜂巢里面，在蜂房的垂直面上表演的。由于蜂巢里面很黑，其他蜜蜂看不见它跳舞。它们是感觉到、听到的，因为跳舞的蜜蜂在表演时发出微弱的、有节奏的嗡嗡声。舞蹈路线呈8字形，中间有一段直行。直行线的指向蕴含一种巧妙的密码，告诉其他蜜蜂食物的方向。

直行线并不直接指向食物的方向。它不可能这样做，因为舞蹈是在蜂房的垂直面上表演，不管食物可能在什么地方，蜂房本身的朝向是固定的。必须指出食物的平面地理方位。垂直的蜂房更像钉在墙上的一幅地图。画在地图上的直线，不直接指向一个特定的目的

地，但是你可以依据约定的意思读出它所指的方向。

为了弄清蜜蜂所遵循的约定，你必须首先知道蜜蜂像许多其他昆虫一样，飞行时将太阳作为指南针来导航。我们在航行时也采用类似的方法。这种方法有两个缺点。第一，太阳常常躲在云层里。蜜蜂是靠一种感官来解决这个问题的，而我们没有这种感官。此外，冯·弗里希发现蜜蜂能“看见”光的偏振方向，因此即使看不见太阳，它们也知道太阳的位置。把太阳当做指南针存在的第二个问题是，随着时间的推移，太阳在天空中移动。蜜蜂靠它的生物钟解决这个问题。冯·弗里希发现，几乎令人难以置信的是，跳舞的那只蜜蜂在寻找食品远征归来之后，在蜂巢中被关了数小时后，它们会慢慢改变其直行线的方向，就好像这条线是24小时制时钟的时针一样。它们在蜂巢内看不见太阳，却慢慢地转动着跳舞的方向，以跟上太阳的运动，这是生物钟告诉它们外面正在发生的事情。令人惊奇的是，从南半球来的各种蜜蜂也会做同样的事，不过方向相反，正如它们在南半球应做的那样。

现在让我们来看看舞蹈密码本身。舞蹈的直行线垂直向上，表示食物在朝着太阳的方向。垂直向下，表示食物在背着太阳的方向。介于两者之间的角度都代表相应的方向。向上偏左50度，表示在水平面上从太阳方向左偏50度。但是在实际舞蹈中并没有如此精确的角度。这是为什么？因为把罗盘分成360度是人为的规定，而蜜蜂则将罗盘大约分成8个蜜蜂度。实际上，除了职业航海家外，我们的做法也差不多。我们把非正式的“罗盘”分成8个区：北、东北、东、东南、南、西南、西、西北。

在蜜蜂的舞蹈里也含有食物距离的密码。或者说，舞蹈的各方面情况——旋转速率、摇摆速率、嗡嗡叫的速率——都与食物的距离

有关，任何一个方面，或者几个方面相组合，都能被其他蜜蜂用来读出食物的距离。离食物越近，舞就跳得越快。通过联想，你就能记住这一点：与一只在远处找到食物的蜜蜂相比，一只蜜蜂发现了离蜂巢很近的食物会更兴奋，体力消耗也少。我们将会看到，这还暗示了舞蹈是怎样进化的。

总而言之，一只寻食的蜜蜂发现了一处很好的食源。它满载着花蜜和花粉飞回蜂巢，把花蜜和花粉交给迎接它的工蜂，然后就开始跳舞。在蜂房的垂直面的某一点(随便哪一点)上，它开始快速地绕8字形跳舞。其他工蜂聚集在它周围，感觉着、倾听着。它们数着嗡嗡声的速率，或许还数着旋转的速率。当舞蹈者摇摆它的腹部的时候，其他蜜蜂度量着它的直行线与垂线之间的夹角。然后它们来到蜂巢门口，从黑暗中来到阳光下。它们观察太阳的位置——不是观察太阳的高度角，而是观察太阳在水平面上的方位角。然后，它们沿着一条直线飞去，直线与太阳的夹角，等于找到食物的蜜蜂跳舞时的方向与垂线的夹角。它们沿着这个方向一直飞，飞的距离与跳舞时发出的嗡嗡声的速率的对数成反比。有趣的是，如果原来那只蜜蜂为了寻找食物而飞了弯路的话，它向同伴们指引的方向，不是它所飞过的弯路，而是调整过的直接飞向食物的方向。

蜜蜂跳舞的故事令人难以置信，也确有人不相信。我将在下一章回到怀疑者，回到最近的一些实验上来，这些实验结果终于印证了这事。在这一章，我想讨论一下蜜蜂的舞蹈是如何逐渐进化来的。在进化过程的中间阶段这些舞蹈看起来是什么样的？当这种舞蹈尚不完善时它们又是如何起作用的？

顺便说一句，叙述这些问题的词语并不十分准确。没有什么生物能在“不完善的”“中间阶段”生存。古代的、已经死去很久的蜜

蜂，从事后认识，它们的舞蹈可以被看作是走向现代蜜蜂舞蹈的中间阶段。而那些蜜蜂也曾经生活得很好。它们走完了蜜蜂的全部生命历程，从未想到它们“正在走向”某种“更好”的生活。再者，“现代”的蜜蜂舞蹈也许并不是最后的产物，而且可能在我们和我们的蜜蜂都死后，进化成更令人惊奇的东西。不管怎么说，现代的蜜蜂舞蹈是怎样逐步进化来的，对我们来说确实是个谜。这些逐渐发展的中间类型看起来是什么样，又是怎么起作用的呢？

冯·弗里希自己也注意到了这个问题。他是通过考察家族树、研究蜜蜂的现代远亲来处理这个问题的。这些现代远亲并不是蜜蜂的祖先，因为它们与现在的蜜蜂生活在同一时代。但是它们也许保留着蜜蜂祖先的特征。蜜蜂是温带昆虫，它们在中空的树干里或洞穴里筑巢。它们最近的亲戚是热带蜂。热带蜂能在露天里做巢，即把巢做在树枝上或裸露的岩石上。因此，它们在跳舞时能看到太阳，而不必求助于用垂线“代表”太阳方向这种规定。太阳能代表它自己。

蜜蜂的一种热带亲戚——小蜜蜂(*Apis florea*)——在蜂巢顶端的水平面上跳舞。在舞蹈中，它们的直行线直接指向食物。这里不需要地图上的那种规定，直接指出方向就行了。当然，这似乎是蜜蜂进化道路上的一个可能的过渡阶段，但是我们还是想了解在它之前、之后的一些中间阶段。蜜蜂舞的先驱会是什么呢？为什么刚找到食物的蜜蜂必须一圈又一圈地绕8字形飞舞，而其直线的方向直接指向食物呢？有人认为，这是起飞时一种仪式化了的形式。冯·弗里希认为，在舞蹈进化之前，找到食物的蜜蜂飞回蜂房，卸掉负载之后，会直接向着原来的方向起飞，再次飞回那食源地。为了准备起飞，它将头朝向正确的方向，还会向前走上几步。如果故意夸大或延长起

飞时的助跑动作能发动其他蜜蜂跟随其后，那么，自然选择就会促使这种趋势进一步发展。也许这种舞蹈就是一种仪式化的反反复复的起飞助跑动作。这似乎是可能的，因为不管它们是不是利用舞蹈，蜜蜂时常采用一只跟着一只地飞向食物源的这种直接策略。另外一个事实也使这种想法具有可能性，即：跳舞的蜜蜂微微张开翅膀，好像是准备起飞，然后它们振动翅膀肌肉，这种振动虽不足以使蜜蜂起飞，却可以发出声音，这声音也就成了舞蹈信号的一个重要的组成部分。

一种显而易见的延长和夸大助跑动作的方式，就是重复这些动作。重复，就意味着回到起点，然后再朝食物的方向走几步。回到起点有两种方式，即：可以在跑道的尽头向右转或者向左转。如果你总是向左转或总是向右转，那么，哪个方向是真正的起飞方向，而哪个方向是重新回到跑道起点的方向就不明确了。消除这种“糊涂”的最佳办法，就是左转右转交替使用。这就是自然选择的8字形。

但是，食物距离与舞蹈速率之间的关系是怎样演化的呢？如果舞蹈速率与食物距离成正比关系，这种关系就很难解释。但是，你会记得，实际上这种关系正相反：食物越近，舞得越快。这直接暗示着逐步进化的一条可能途径。在舞蹈本身开始进化之前，寻找食物的蜜蜂也许只是仪式化地反复表演起飞助跑动作，也没有特定的速率。至于跳舞的速率，也许是它们偶然觉得喜欢那么跳。试想，如果你刚从几英里以外飞回家，满载着花蜜和花粉，难道你还愿意飞速地绕着蜂房冲来冲去么？不能，你一定已经感到精疲力竭了。如果你刚刚在离蜂巢很近的地方发现了一处丰饶的食物源，经过很短的归途你仍然精神饱满、体力充沛。于是，人们就不难理解，食物的距

离和舞蹈的速率之间，怎样从最初的偶然联系发展成仪式化的、正式而可靠的密码。

现在让我们看一看最有争议的中间阶段。直行路线直接指向食物的原始舞蹈怎样转变为另一种舞蹈，用与垂线之间的夹角来表示食物与太阳之间的夹角？这个转变势在必行，部分是因为蜂巢里面很暗，从那里看不见太阳；部分则因为在蜂房的垂直面上跳舞时不可能直接指向食物，除非垂直面本身碰巧朝向食物。但是这还不足以说明这种转变必定会发生。我们还必须解释清楚，这个困难的转变是怎样经过一系列可能的步骤，一步一步实现的。

这看上去很难解释，但是关于昆虫神经系统的一个奇特事实可以帮我们的忙。下面是一个曾经对各种昆虫——从甲虫到蚂蚁——都做过的一个非同寻常的实验。实验开始时，让一只甲虫在水平放置的木板上行走，有一只电灯照着它。第一件要证明的事是，这只甲虫在利用光罗盘来导向。将灯泡的位置改变一下，甲虫便相应地改变它行进的方向。如果它行进的方向与光源成30度角，改变灯泡位置后，它会改变自己的走向，使之仍与移动了的光源成30度角。实际上，你可以把光束当做舵柄，来引导甲虫到你想让它去的任何地方。关于昆虫的这个事实很早就为人所知了：它们以太阳(或者月亮，或者星星)作为指南针。你用一个灯泡就很容易使它们上当受骗。谈到这里，一切都顺当。现在让我们看一个有趣的实验。将灯熄灭，同时把木板竖起来。这甲虫继续无所畏惧地行进，并且，说也奇怪，它改变了行进方向，使行进方向与垂线之间的夹角跟原先与光线之间的夹角相同——在我们的例子里是30度。没有人知道为什么会发生这样的事情，但它确实发生了。这好似泄漏了昆虫神经系统一个偶发的现象——一种感觉上的混乱，重力感觉与视觉感觉线

路的交错，有点像我们被当头打了一棒时，眼前看见金星闪烁。不论怎样，这大概为解释蜜蜂舞的"垂线代表太阳"密码的演化，提供了必要的桥梁。

发人深省的是，如果你在蜂巢里点上一盏电灯，蜜蜂就会抛开它们的重力感，用灯光的方向直接代替它们密码中的太阳。这一早就知晓的事实被用于一个聪明巧妙的实验中，最终证明了蜜蜂的舞蹈确实起作用。在下一章中我还将讨论这个问题。同时，我们已经发现了一系列可能的逐渐发展的中间类型，现代的蜜蜂舞蹈就是经过这些中间类型从简单的初始阶段进化来的。上面讲的，如我所述，是以冯·弗里希的想法为基础的。这想法实际上可能不一定正确。然而，与之多少有些相似的事情确曾发生过。我讲这个故事是为了回答自然怀疑论，即来自个人怀疑论的质难。当人们面对精妙的或复杂的自然现象时，就会萌生这种论调。怀疑论者说："我不能想像有一系列可能的中间类型，因此，没有这样的中间阶段。这种现象是一种自发产生的奇迹。"冯·弗里希已经提供了一个可能的中间类型系列，即便它不是一个完全正确的系列，但它是可能的这一事实本身就足以挫败个人怀疑论的质难。我们迄今讨论过的其他例子(从模拟黄蜂的兰花到照相机式眼睛)也是这样。

自然界中一切难以理解和令人困惑的现象都会被怀疑达尔文渐进的进化论的人搜集起来。比如，有人曾要求我解释，在太平洋海沟中既无光线、水压又可能超过 1 000 个大气压的环境里，生物是怎样逐渐进化的。在太平洋海沟深处沸热的火山口周围，生长着一个完整的动物群落。细菌的生化过程全然不同，它们利用火山口的热进行硫的代谢而不是氧的代谢。较大动物群落的生存最终都依赖于这些硫细菌，正如普通生命依赖于从太阳获取能量的绿色植物。

硫群落中的动物全都是在其他地方发现的普通动物的亲戚。它们是怎样进化的？通过了什么样的中间阶段？争论的形式完全一样。为了进行解释，我们需要的只是至少一个自然梯度，而当我们潜入海中时，梯度是十分丰富的。1 000 个大气压是一个可怕的压力，但它在数量上仅仅比 999 个大气压多了 1 个大气压而已，而 999 个大气压也仅比 998 个大气压多了 1 个大气压而已，等等，等等。海底提供了从 0 经过所有中间深度，一直到 10 000 米的深度梯度；压力则从 1 个大气压平缓地增加到 1 000 个大气压；亮度也从水面处明亮的白昼缓缓地变为深海的完全黑暗，只有鱼类的发光器官里的少量发光菌能提供一点光亮。没有明显的突然中断现象。对于业已适应的每一压力与黑暗程度，都会存在一种特定的动物，它与那些生存在更深 1 米、更暗 1 流明的地方的动物略有不同。对于每一……但是这一章已经太长了。你知道我的方法，华生。应用它们吧。

第四章　上帝的实用功能

在前一章中提到的那个给我写信的部长，从一只黄蜂发现了上帝；而达尔文则由于另一只蜂的帮助失去了他的信仰：“我不能说服自己，”达尔文写道，“仁慈和万能的上帝会特意创造出姬蜂，并表明意图，要它们在活毛虫体内取得食物。”实际上达尔文原来保持宗教信仰是为了迎合他那笃信宗教的妻子艾玛，他之所以渐渐失去了信仰，有着更为复杂的原因。他的关于姬蜂的说法只是一句警句。他所提及的姬蜂的可怕习性，姬蜂的亲属泥蜂也有。这在前一章中我们曾讲到过。雌泥蜂不仅把卵产入毛虫(或者蝗虫、蜜蜂)体内，这样它的幼虫就能以毛虫等为食，而且根据法布尔及其他人的说法，雌泥蜂很细心地把它的螫针插进猎物中枢神经系统的每个神经节，将其麻醉，但不将它杀死。这样可以使肉保持新鲜。现在尚不清楚，这种麻醉是像一般麻醉剂呢，还是像马钱子那样仅仅使猎物失去活动能力。如果是后一种情况，猎物有可能意识到自己正在被从内部活活地吞噬，却无法采取任何行动。这听起来非常残忍，然而我们即将

看到，大自然并不残忍，只是无情地不偏不倚罢了。这是人类最难学会的课程之一。我们不能承认事情可能是既不好也不坏，既不残忍也不仁慈，只是毫无知觉——对所有的痛苦都麻木不仁，没有任何目的。

我们人类的大脑是有意图的。我们觉得对任何事情都不问这是“为了”什么，不问这样做的动机是什么，或者说不问目的是什么，这是很困难的。对目的着迷到了病态，从纯属偶然的坏运气中寻找恶毒的动机，这叫妄想狂。然而这仅仅是一种普遍错觉的夸大形式而已。把任何一个事物或过程展示给我们，我们很难不提出“为什么”这个问题——问一句“这是为了什么？”

对于生活在被机器、艺术品、工具和其他人工设计制造的物品所包围的环境中的“动物”来说，处处渴望知道动机，这是很自然的；此外，动物清醒的想法是受自身目的支配的。一辆汽车，一个开罐器，一把螺丝刀，一把干草叉，等等，全都使我们有正当的理由动问：“它是为了什么？”我们那些不信宗教的祖先也许曾对雷电、日食、岩石和溪流提过同样的问题。今天，我们为自己摆脱了这种原始的泛灵论而自豪。如果在溪流中有一块石头，正好可以让我们方便地踩着过河，我们会认为它的这个用途是一个意外的礼物，而并无真实的动机。但是，当灾难降临时，旧有的诱惑又回来报复了——确实，“打击”这个词是泛灵论的回声：“为什么，噢，为什么癌症(地震、飓风)要降临到我的孩子头上？”当谈论到事物的起源或者物理学基本原理的时候，同样的诱惑又往往为人津津称道，而以虚无的存在主义问题达到登峰造极：“为什么有这些事，而不是什么都没有？”

我已经记不得有多少次，在我发表公开演讲之后，总会有听众站

起来说类似这样的一番话："你们科学家非常善于回答'怎么样'的问题。但是你必须承认，你们一遇到'为什么'的问题就无能为力了。"菲利普亲王听了我的同事彼得·艾特金斯博士(Peter Atkins)在温莎的演说之后，就发表过这样的观点。在这问题的背后总是隐含着一层没说出口但从未去证实的意思：科学不能回答的"为什么"问题，必定有某种其他教派有资格回答它们。当然，这种暗示是非常不合逻辑的。

恐怕艾特金斯博士不会有什么好脸色给这位"为什么"殿下看。一个简单的事实是：能够想出一个问题并不等于它就是合理的或明智的。有许多事物，你可以对它提出问题，比如"它的温度是多少？"或者"它是什么颜色？"但是你不能问妒忌或祷告的温度有多高或者是什么颜色。同样，你对自行车挡泥板或者卡里巴水坝提出"为什么"的问题是有道理的；但是无论如何你不能期望对一块顽石、一次灾祸、珠穆朗玛峰或者宇宙提出的"为什么"问题能得到回答。不论提问怎样出于真诚，这些问题都可能是很不适当的。

以挡风玻璃刮水器和开罐器为一方，以岩石和宇宙为另一方，它们之间某处存在着有生命的创造物。与岩石不同，虽然活的躯体以及它的器官也是物体，但看上去浑身上下都写满了"动机"。当然，臭名昭著的"生命体具有动机"的观点一直支配着经典的神创论，被神学家们——从阿奎纳斯(Aquinas)、威廉·佩利(William Paley)直到现代的"科学"神创论者——不断引用。

这个赋予鸟翅膀、眼睛、喙、筑巢本能的真实过程，以及有关生命的每件事物的形成曾给人强烈的错觉，使人认为它具有设计"动机"。现在真实的进化过程已得到普遍理解，它就是达尔文的自然选择。对此，我们迟至一个半世纪之前才开始理解，这令人吃惊。

在达尔文之前，即使有教养的人，尽管已经抛弃了对于岩石、溪流和日食的“为什么”问题。却仍然含蓄地接受关于生物的“为什么”问题的合理性。现在，只有科学盲才这么做。然而，“只有”这两个字隐瞒了一个令人不快的事实，那就是它指的是绝大多数人。

事实上，达尔文主义者确对有生命的东西构思过一类“为什么”问题，但是以一种特殊的隐喻意义。鸟为什么唱歌、翅膀是做什么用的？现代达尔文主义者会把这样的问题速记下来，然后根据鸟的祖先的自然选择给以合情合理的回答。有关动机的错觉是如此有力量，以至生物学家们自己利用优良设计的假设作为研究工具。正如我们在前一章看到的，在进行关于蜜蜂跳舞的划时代研究工作之前很久，卡尔·冯·弗里希不顾强大的正统的反对意见，发现有些昆虫确实具有色觉。促使他去做决定性实验的是一个简单的观察——蜂媒花不顾麻烦地制造色素。如果蜜蜂是色盲的话，它们为什么这么做呢？在这里，动机暗喻——更确切地说，达尔文的自然选择所包含的设想——被用来做出了一个对于世界的有力推论。如果冯·弗里希说“花是有颜色的，因此蜜蜂一定有色觉”，这就大错特错了。但是，他是这样说的：“花是有颜色的，因此这最起码也值得我努力去做一些新的实验，来检验关于‘蜜蜂有色觉’这一假设是否成立。”他这样讲是完全正确的。当他仔细研究这件事时，他发现，蜜蜂具有很好的色觉，但是它们可以看见的光谱与我们的不同。它们看不见红光(它们可能把我们说的红光称为“黄外”光)。但是，它们看得见波长较短的紫外光，对它们来说紫外光是很鲜明的颜色，有时被称为“蜜蜂紫”。

当冯·弗里希认识到蜜蜂看到的是光谱中的紫外光部分时，他又使用动机隐喻进行了推理。他问自己，蜜蜂利用紫外光视觉作什么

呢？ 他的思想转了整整一圈，又回到了——花。 虽然我们看不见紫外光，但是我们能制造对紫外光敏感的摄影胶片，我们能制造可以透过紫外光但挡住可见光的滤光片。 根据自己的预感，冯 · 弗里希拍摄了一些花的紫外光照片。 他很高兴地看到了由斑点和条纹组成的图形，这是人眼以前从未见过的。 我们看到的白色的花或黄色的花，事实上都点缀着紫外光图形，这种图形常常成为引导蜜蜂找到蜜腺的“路标”。 具有明显动机的假设又一次报复了我们：花，如果是事先设计好的，那么它就会利用蜜蜂能看见紫外光这个事实。

冯 · 弗里希老年时，他的最著名的实验——我们在前一章中讨论过的蜜蜂跳舞的实验——受到美国生物学家艾德里安 · 威那(Adrian Wenner)的质疑。 所幸冯 · 弗里希足够长寿，亲眼见到了自己的工作被另一个美国人詹姆斯 · L · 古尔德(James L.Gould，眼下他在普林斯顿大学)用构思最卓越的一个生物学实验证明是正确的。 我要简洁地介绍一下这件事，因为它与我对“活像设计好的”假设的观点有关。

威那和他的同事们并不否认蜜蜂确实跳舞。 他们甚至也没有否认冯 · 弗里奇所说的舞蹈中包含的全部信息，他们否认的是其他蜜蜂读得懂这些舞蹈。 威那说，是的，摇摆舞中直行时的垂直夹角同食物的方向与太阳之间的夹角有关，但是其他蜜蜂不是从舞蹈中得知这一信息的。 不错，从舞蹈中各种动作的速率可以读出食物距离的信息，但是没有确实的证据能够证明其他蜜蜂读懂了这些信息。 它们有可能忽视了它。 怀疑者说，冯 · 弗里希的证据有缺陷，并且，当他们重复弗里希的实验并加以适当“控制”(即留心蜜蜂借以找到食物的其他方法)，实验就不再支持冯 · 弗里希的舞蹈语言假设了。

吉姆 · 古尔姆正是在这个时候带着他那技艺精湛的天才实验出现在故事之中。 古尔德利用了一个久为人知的关于蜜蜂的事实，这个

你在前一章已经读过了。虽然蜜蜂通常是在黑暗中跳舞，在垂面中用竖直向上的方向代表太阳在地平面上的投影方向，但是如果你打开蜂房里的灯，它们就会毫不费力地转到一种可能较为原始的方法。它们会全然不顾重力，而将灯泡代替太阳作为舞蹈方向的参照物。所幸的是，当跳舞的蜜蜂把参照物从重力转向灯泡时，并未引起其他蜜蜂的误解。其他“观看”跳舞的蜜蜂也同样改变了方向，因此，舞蹈所传达的信息还是一样的。其他蜜蜂仍然向着跳舞者所指引的方向飞去寻找食物。

现在，让我们来看一看吉姆·古尔德的妙举。他把黑色虫胶涂在一只跳舞蜜蜂的眼睛上，使它看不见灯泡已经点亮。因此，它仍按照正常的重力规则来跳舞。但是，其他看舞蹈的蜜蜂没有被蒙住眼睛，能够看见点亮的灯泡。它们把舞蹈看成是好像重力规则被丢弃，而代之以灯泡“太阳”规则。注视舞蹈的蜜蜂测量着“舞步”相对于光源的角度，而跳舞的蜜蜂则根据重力线来调整角度。实际上古尔德是在强迫跳舞的蜜蜂就“食物的方向”说谎，不是一般意义上的说谎，而是在古尔德可以精确操纵的特定方向上说谎。当然，他不是仅仅用一只蒙眼蜜蜂做实验，而是根据统计学要求选定蜜蜂的样本，并且变换多种不同角度来进行实验。这个实验成功了。冯·弗里希提出的关于舞蹈语言的假设，被胜利地证明是正确的。

我讲上面这个故事并不是为了有趣。我想要说明有关良好设计的假设的消极的一面与积极的一面。当我第一次看到威那及其同事的质疑论文时，我曾公开嘲笑过他们。即使最终证明原来威那是错了，这样做也不好。我嘲笑的根据全在于“良好设计”的假设。毕竟威那并未否认蜜蜂跳舞的事，也没有否认冯·弗里希所说的舞蹈所包含的有关食物的距离和方向全部信息，威那只不过是否认其他蜜蜂

读懂了这些信息。这是我和许多其他达尔文主义生物学家们不能容忍的。蜜蜂的舞蹈是如此复杂、如此丰富多彩，又与舞蹈者向其他蜜蜂通报食物距离和方向这个明显动机如此协调一致。在我们看来，除了自然选择之外，其他途径不可能带来如此完美和谐的表达。在某种意义上，我们掉进了神创论者们在默祷生命奇迹时落入的同一个陷阱。蜜蜂舞蹈的目的很简单：必须做有用的事，那就是帮助其他蜜蜂找到食物。再者，甚至连舞蹈完美和谐的各个方面——舞蹈角度、速率与食物方向和距离的关系——也是这样：必须做有用的事。因此，我们认为，威那必错无疑。我毫不怀疑地相信，即使我足够聪明，能够想到古尔德那个“蒙眼”实验(当然，我并未想到)，我也懒得去做这种实验。

古尔德不仅创造性地想到了做这个实验，而且不厌其烦地去做了。这是因为，他没有被“良好设计”假设诱入歧途。我们正在走钢丝，但是我猜想，古尔德与在他之前的冯·弗里希(做颜色研究)一样，在头脑中已经有了足够的良好设计的假设，相信自己的出色实验会有相当大的成功机会，因此值得为之花费时间和精力。

现在，我要引出两个技术名词：“逆向工程”和“实用功能”。在写这一节时，我受到丹尼尔·丹尼特(Daniel Dennett)所著极好的一本书《达尔文的危险思想》的影响。逆向工程是一种推理技巧，是这样进行的。你是一名工程师，发现了一件人工制品，却不了解它的原理。你对它的功能做了一些假设：它是为了某某用途而设计的。为了弄清这件制品能够解决什么问题，你将它解剖并进行分析：“如果我想制造一部机器来做某某事，是否会把它做成这样的？或者，是否把这物件解释为一部设计用来干彼事的机器更好些？”

计算尺，直到不久以前还是令人尊敬的工程师的职业法宝，可到

了电子时代，却像青铜器时代的遗物一样被废弃不用了。将来的考古学家若发现一把计算尺，在惊异之余，也许会注意到利用它能很方便地画出直线或者往面包上抹黄油。但是，把这两种用途之中的任何一个设定为它的原始用途，都违反经济的前提。仅仅用作直尺或黄油刀无需在尺的中部设一个滑动部件。再者，如果你查看尺上的一条条标线，会发现那是精确的对数刻度。这些刻度印制得非常细致，因此它不可能是一种偶然的东西。考古学家会渐渐想到，在电子计算机之前的时代，这种东西是快速作乘除运算的聪明办法。人们采用机智和经济的设计假设，借助逆向工程，解开了这个“计算尺之谜”。

“实用功能”不是工程师的术语，而是经济学家的术语。它意味着“最大限度”。经济计划者们和社会工程师们在某个方面与建筑师和真正意义上的工程师非常相像，那就是他们都尽力扩大某种东西。功利主义者们努力把“最大多数人的最大幸福”扩展至最大限度(顺便说一句：这话听上去要比实际上更明智些)。在这顶大伞之下，功利主义者也许会把长期稳定或多或少地放在更优先的地位，而牺牲一些短期的幸福，他们在如何衡量“幸福”上是不同的：或根据金钱财富，或根据对工作的满意程度，或根据对文化生活的满足程度，或根据人际关系。另一些人靠牺牲公众福利事业，公然攫取最大限度的个人幸福，他们还会利用一种哲学——宣称如果大家都自顾自的话，那么公众就能得到最大限度的幸福——来美化他们的利己主义。通过观察各个人一生中的行为，你应该能对他们的实用功能实施逆向工程。如果你对某个国家的政府行为做一个逆向工程，你或许会断言这个政府最大限度地扩大的，是就业和全民福利事业。对于另一个国家来说，它所表现出来的实用功能，也许是总统连任权，

或者是某个处于统治地位的家族的财富，后宫的规模，中东的稳定，或者石油价格的稳定，等等。问题是你可以设想不止一种实用功能。个人、大公司、或者政府，他们在尽力最大限度地发展什么，并不总是明确的，但是，我们可以假设他们正在最大限度地发展某件事，这种假设可能是稳妥的。这是因为，人类是一种深深地被目的所驱使的物种。甚至当实用功能表现为加权和，或者在有许多投人的复杂函数的情况下，这一原则也照样适用。

让我们回到生物体，试着推断它们的实用功能，可能会有很多种，但最终都归为一种。要使我们的任务戏剧化，有一个好办法，那就是设想活的生物是由一位神仙工程师制造的，然后通过逆向工程设法找出这位神仙工程师要最大限度地取得的东西是什么：上帝的实用功能是什么？

猎豹给人们种种迹象，表明它是为了某种东西而被出色地设计出来的，对猎豹实施逆向工程以弄清它们的实用功能，是件极容易的事情。看来，它们是被精心设计用来捕杀羚羊的。它们的牙齿、爪子、眼睛、鼻子、腿部的肌肉、脊椎骨，以及脑都使我们想到，上帝设计猎豹的意图，就是要最大限度地造成羚羊的死亡。反之，如果我们对羚羊施行逆向工程，我们就会发现给我们同样深刻印象的证据，说明设计羚羊的目的完全相反：羚羊生存，猎豹挨饿。仿佛猎豹是一个上帝设计的，而羚羊是这个上帝的对手所设计。换言之，如果只有一个造物主，他创造了老虎和羔羊，猎豹和瞪羚，那么，他意欲何为？他是一个乐于旁观流血游戏的虐待狂么？他是在尽力避免非洲哺乳动物数量过剩么？他是在设法最大限度地提高戴维·阿滕伯勒(David Attenborough)的电视收视率么？这些容易理解的实用功能，都有可能被证明是真的。当然，事实上这些都是错误的。现

在，我们对生命的惟一实用功能已有极深入的了解，它与上面这些说法全然无关。

这个观点在第一章中已经为读者准备好了，那就是：生命真正的实用功能，自然界中被最大限度地扩展的实用功能是DNA的生存。但是，DNA不是自由漂移的，它被锁定在活的生物体内，它还必须使大部分主要机能受它支配。猎豹体内的DNA序列，靠驱使猎豹咬杀瞪羚来求得自己最大限度的生存。瞪羚体内的DNA序列，则通过促进相反方向的发展求得它们自己最大限度的生存。但是，在这两种情况下，被最大限度地扩张的，都是DNA的生存。在这一章中，我要对若干实例做逆向工程，以便让读者看到，一旦你假设是DNA的生存被扩展到最大限度时，如何将每件事都解释通。

性别比——雄性对雌性的比例——在野生动物世界通常为50：50。但有许多物种存在着“后宫制”，即一个雄性占有多个雌性。在这些物种中，这一比例似乎一点都没有经济意识。曾有人研究过一个象海豹群，4%的雄性占有88%的交配量。从没人留意到，对于成为光棍的大多数象海豹来说，上帝的实用功能是多么的不公平。更糟糕的是，一心一意减少花费、提高效率的上帝有义务注意到，被剥夺了交配权的那96%雄性象海豹耗费着整个象海豹群的一半食物资源(实际上还多于一半，因为成年雄性象海豹的个体比雌性大得多)。多余的光棍象海豹们除了等待机会顶替那幸运的4%后宫主人之外，便无所事事了。这些过多的光棍象海豹群的存在，怎么可能是合理的呢？任何略微考虑到群体经济效率的实用功能，都会淘汰这些光棍们。取代这种情况，只应该有刚好足够使雌海豹受孕的那么多雄海豹。然而，当你理解了真正的达尔文主义的实用功能，即尽可能扩大DNA的生存时，这个明显不正常现象又一次得到优美简

捷的解释。

我将对性别比的例子稍微详细地做些讨论，因为它的实用功能微妙地适合了一种经济处理方式。达尔文承认他自己存在困惑，他说："过去我曾认为生产出数目相等的两种性别有利于这个物种，这符合自然选择规律。但是现在我看到这一问题是如此错综复杂，因而还是将它留待将来解决更保险。"像往常那样，是伟大的罗纳德·费舍尔爵士(Sir Ronald Fisher)在达尔文之后站了出来。费舍尔的推论如下。

所有个体生来都只有一个母亲和一个父亲。因此，考虑到若干代以后的情况，当代所有雄性总的生育数必定等于所有雌性的生育数。我不是指每一个雄性和每一个雌性，因为很明显、也很重要的是，有些个体要比其他个体生育得多。我说的是全体雄性与全体雌性之间的比较。所有的子代必然要分到个别的雌性和雌性头上——不是均分、只是分享。由全体雄性分享的生育蛋糕必须等于由全体雌性分享的生育蛋糕。因此，如果该群体中雄性多于雌性的话，每一个雄性平均所得的蛋糕，必定小于每一个雌性的平均所得。也就是说，雄性平均生育数(预期生育数)与雌性平均生育数之比仅取决于雄与雌的比例。"占少数的性别"生育后代的平均数量，要比"占多数的性别"的平均生育数大。只有在性别比例相等，没有少数性别的情况下，两种性别才能有相等的预期生育数。这个极简单的结论，纯粹是理论上逻辑推理的结果。除了一个基本事实，即，所有孩子生来都有一个父亲和一个母亲之外，这一逻辑推理不依赖于任何经验事实。

性别通常是在妊娠期就决定了，因此我们可以假设任何个体都没有能力决定自己的性别(这一次这种啰苏不是走形式，而是必要的)。

让我们同费舍尔一道，假设父母之一可能有能力决定其后代的性别。当然，这个“能力”不是指有意识或者是故意使用的力量，而是指一个母亲可能有一种遗传倾向，在阴道中产生一种化学物质，稍为排斥那些生儿子的精子，而不排斥那些生女儿的精子。或者，一个父亲可能带有这样的遗传倾向，即产生更多的生女儿的精子，而不是生儿子的精子。不管实际上会怎么做，设想你自己作为父亲或母亲，试着决定是要个儿子呢，还是要个女儿。我要再次说明，我们不是在讨论有意识的决定，而是基因作用于生物体的世代选择对它们后代性别的影响。

如果你想使你孙子孙女(包括外孙、外孙女)的数量达到最大，那你究竟应该要个儿子呢，还是要个女儿？我们在前面已经看到，你应该要的这个孩子，不论是什么性别，在群体中都应该是少数。这样，你的孩子就可以期望得到较大的生育份额，你也就可望得到较多的孙子孙女了。如果哪一种性别都不比另一种性别多——换句话说，性别比已经是 50：50——你就不可能从选择这一种或那一种性别中获益，无论你是要个儿子或要个女儿就都无所谓了。因此，50：50 的性别比例被称为进化的稳定点，这个术语是伟大的英国进化论者约翰·梅那德·史密斯(John Maynard Smith)创造的。只有当现有性别比不是 50：50 的时候，你对性别选择的倾向性才会有回报。至于为什么个体应该有尽可能多的子孙后代，这个问题是无需提出的。导致个体产生最多后代的基因，就是我们期望在世界上看到的基因。我们正在研究的动物继承了成功祖先的基因。

用 50：50 是“最适性别比”来表述费舍尔的理论固然很吸引人，却肯定是错误的。如果男性是少数，最适性别选择是男孩；如果女性是少数则是女孩。如果男女性别都不占少数，那就不存在最适的

选择，计划周详的父母完全不会计较生男还是生女。把 50：50 说成是“在进化中的稳定性别比”，是因为自然选择不喜欢任何偏离它的倾向，如果有任何偏离，自然选择将会支持一种能恢复平衡的趋向。

此外，费舍尔认识到，严格地说，男性与女性的数目并不是被自然选择控制在 50：50 的比例，而是受他所说的在子女身上的“父母支出量”所支配。“父母支出量”是指辛苦获得的食物全都喂进了一个孩子的嘴里，所有的时间和精力都花费在照料这一个孩子身上，而这些本可以用于做其他一些事情，比如照料另一个孩子。比如，假设有一种海豹父母，用两倍于抚养女儿的时间和精力，来抚养它们的儿子。公海豹比母海豹的个头大得多，这使人很容易相信上述情况(虽然实际上可能并不准确)。让我们想一想，它又意味着什么。父母所面临的真正选择，不是“我该要一个儿子呢，还是要一个女儿”的问题，而是“我该要一个儿子呢，还是要两个女儿？”这是因为用抚养一个儿子的食物和其他东西，你可以抚养两个女儿。于是，以个体数目来衡量的话，在进化中的稳定性别比将是两个雌性对一个雄性。但是，如果以“父母支出量”来衡量(不是以个体数量来衡量)，进化中的稳定性别比仍然是 50：50。费舍尔的理论是要平衡在两种性别上的支出。其结果常常碰巧与平衡两种性别的数量是一样的。

正像我曾说过的，即使在海豹中，花在儿子们身上的“父母支出”总量，与花在女儿身上的总量，看起来也没有明显的差异。体重上的巨大差别大概是在“父母的支出”完成之后才显现出来的。因此，父母所面临的决定，仍然是“我应该要个儿子呢，还是女儿？”即使将一个儿子抚养至成年的总花费比将一个女儿抚养至成年的总花费要多得多，只要额外的花费不由决策者(父母)承担，那也都

在费舍尔的理论考虑之中。

费舍尔有关平衡支出的规则，在一种性别的死亡率高于另一种性别的情况下仍然适用。例如，假设男婴比女婴更易死亡。如果怀孕时性别比是 50 : 50，到了成年以后，雌性就会在数量上超过雄性。雄性就成了少数性别，而我们就会天真地期望自然选择会倾向于那些能生儿子的父母。费舍尔也会期望这样，但只到某一程度，而且是精确限定于某一点。他不会期望父母怀上过剩的儿子来抵偿较高的婴儿死亡率，以在交配的群体中达到性别均衡。不，在怀孕时，性别比应是雄性略多于雌性、但是仅仅多到这样一点上：抚养儿子们的总支出将会等于抚养女儿们的总支出。

这一次，考虑这个问题最简单的办法，又是把你自己放到作出决定的父母的位置上，问："我是应该要一个可能活下去的女儿呢，还是要一个可能在婴儿期夭折的儿子？"如果决定靠儿子得到孙子孙女，你就有可能不得不为一些"额外的"儿子花费更多的资源，用他们代替那些将会死亡的儿子。你可以这样想：每一个活下来的儿子都背负着他已逝兄弟的幽灵。他将他们背在后背上，这意味着靠儿子来得到孙子的决定导致父母增加额外的支出——浪费在将会死去的男婴身上。费舍尔的基本规则仍然适用。投给儿子们总的食物量和能量(包括喂养夭折的儿子直至死亡的那一刻)将等于对女儿们的投入总量。

如果不是男婴死亡率较高，而是男性在父母支出终结之后的死亡率较高，这又当如何？实际上这也是常有的事，因为成年男子之间经常打斗，互相伤害。这种情况也会导致交配的群体中雌性过剩。乍看起来，专生儿子的父母吃香，他们会因此而在男性缺少的交配群体中占便宜。然而仔细想来，你就会认识到，这种推理是荒谬的。

父母亲要做的决定是："我是该要一个儿子(将他抚养成人之后，他很可能在战争中死去，然而如果他活下去，却会为我生育特别多的孙子孙女)呢，还是应该要个女儿(她肯定会为我生下数目不多不少的外孙外孙女)？"你能期望靠一个儿子得到的孙子孙女数，仍然与你能期望靠一个女儿得到的平均外孙外孙女数一样多。"造"一个儿子的花费，仍然是喂养和保护他长大，直至他离巢所花的费用。在他离巢之后很可能被杀死这件事，不会使计算发生什么改变。

在这个推理的全过程中，费舍尔假设父母就是做决定的人。然而，如果是父母以外的人做决定，这个计算就会改变。例如，假设一个个体能够影响它自己的性别。再次声明，我不是指由自觉意志来影响性别。我的假设是，驱使个体朝雌性发展，或朝雄性发展的基因，其朝向取决于环境给它的提示。按照我们通常的规定，为简捷起见，我将采用"个体的故意选择"这个说法——对这个事例，则是故意选择它自己的性别。如果是象海豹这样的有后宫制度的动物被赋予了这种灵活选择的权力，将会发生戏剧性的后果。每个象海豹都会渴望成为妻妾成群的雄性，但是，如果在争夺雌性中失败，它们又会宁愿成为雌性，而不做雄性光棍。群体的性别比例就会变成雌性大大多于雄性。很遗憾，象海豹不能重新考虑自己的性别，这性别在妊娠期就已确定了。但是，有些鱼类能够改变性别。雄性的蓝头隆头鱼不仅个体大，而且颜色鲜艳，它们拥有颜色暗淡的雌鱼为妻妾。有的雌鱼的个体比其他雌鱼大些，构成了一个支配集团。如果雄鱼死了，它的位置很快会被个体最大的雌鱼所取代，这条雌鱼会迅速变成一条颜色鲜艳的雄鱼。这种鱼得天独厚，在哪边都不吃亏。它们不是作为光棍，白白耗费着生命，等待一条拥有妻妾的雄鱼死去，而是以有生育能力的雌鱼的身份度过等待时间。蓝头隆头

鱼的性别比制度是少见的，在这一制度下，上帝的实用功能正好与社会经济学家视为精明的东西相符合。

因此，我们认识到，父母和它们自己都是决策者。还有什么其他决策者吗？在社会性昆虫中，投入的决定在很大程度上是由不生育的工虫作出的。工虫通常都是受哺育幼虫的"大姐姐"(在白蚁中，也有"大哥哥")。在社会性昆虫中，蜜蜂是我们比较熟悉的一类。我的读者中如有养蜂人，他们可能早已知道，蜂巢中的性别比从表面上看并不符合费舍尔的估量。首先，必须注意的是，不应把工蜂视为雌性。严格地说，它们是雌性，但它们不生育。因此，根据费舍尔理论调整的性别比，应是雄蜂数与蜂房培育出的新蜂王数之比。在蜜蜂和蚂蚁中，存在着一些特殊的技术上的缘由(这个问题已在《自私的基因》中讨论过，这里不再重复)，可以期望性别比保持在3：1，雌性占多数。养蜂人都知道，实际情况远非如此，而是雄性占多数。一个兴旺的蜂巢在一季里只能产生五六只新蜂王，但是却会产生成百甚至上千只雄蜂。

这是怎么回事？像在现代进化理论中常有的情况一样，我们从牛津大学的W.D.汉密尔顿(W.D.Hamilton)处得到了答案。它揭示并概括了费舍尔关于性别比的全部理论。解开蜜蜂性别比之谜的钥匙，就在蜜蜂成群地飞离蜂巢这一现象中。一个蜂巢在很多方面就像是一个个体。它发育成熟，繁殖后代，直到最终死亡。蜂巢繁殖出来的产品就是蜂群。盛夏，当蜂巢最兴旺的时候，它就放出一群女儿——一个蜂群。对蜂巢来说，生产出蜂群就是"繁殖"、"生育"的同义词。如果把蜂巢比喻为一座工厂，蜂群就是最终产品，它们携带着群体的宝贵基因。一个蜂群有一只蜂王，还有数千只工蜂。它们作为一个整体全部离开了原蜂巢，聚集在一起形成密集的蜂群，

挂在大树上或者岩石上。这就是它们的临时宿营地，同时它们也在寻找永久性的新家。在几天之内，它们找到一个洞，或者一棵中空的树安下新家。或者，在今天更常见的情况，它们被一个养蜂人捕获(也许就是原来那个养蜂人)，装入一个新蜂箱中。

放出子群是一个兴旺蜂巢的职责。为此要做的第一件事是造一个新蜂王。通常是造6只左右蜂王，但是能存活的注定只有1只。第一只羽化的蜂王把其他几只都刺死(或许，多余的几只是出于保险的目的而造的)。蜂王与工蜂在遗传上是可以互相转变的，只是蜂王是被放在专门的蜂王室里抚育(蜂王室挂在蜂巢下部)，享用特别富有营养的膳食。蜂王膳食中包括王浆。小说家戴姆·芭芭拉·卡特兰德(Dame Barbara Cartland)把她的长寿，以及女王般的举止，都罗曼蒂克地归功于王浆。工蜂住在较小的巢室中，这些巢室以后用来存放蜂蜜。雄蜂在遗传上不同，它们是未受精的卵孵化而来的。值得注意的是，一个卵究竟是变成雄蜂还是雌蜂(包括蜂王和工蜂)，这由蜂王决定。蜂王只在一次婚飞中交配，那是它刚刚成年的时候。它把精子在体内储存一生。当卵经过产卵管产出时，蜂王也许会从“储存”中放出少量精子使卵受精，也许不放出精子给卵子授精。因此，是蜂王控制着蜂卵的性别比。然而，看来是工蜂掌握着随后的所有权力，因为它们控制着对幼虫的食物供应。例如，如果从工蜂的观点来看，蜂王所产的雄蜂卵过多，工蜂就可以让雄幼虫挨饿。在任何情况下，都是工蜂们决定着是把一个雌卵变成一只工蜂呢，还是变成蜂王，因为这完全取决于养育条件，特别是饮食。

现在，让我们回到性别比的问题上来，看看工蜂所面临的抉择。正像我们已经看到的那样，工蜂们不像蜂王那样选择生儿还是生女，它们要决定的，是生产弟弟们(雄蜂)，还是生产妹妹们(年轻的蜂

王)。 现在让我们回到我们的谜语上来。 因为实际上性别比是雄性严重过剩，这从费舍尔的观点来看是没有意义的。 让我们更仔细地研究一下工蜂面临的决定。 我们刚才说过这是在弟弟和妹妹之间的选择。 但是且慢，决定抚育一个弟弟，实际上仅仅是把蜂房里的食物和其他资源拨出一些供抚育一只雄蜂用。 然而，决定抚育一只新蜂王，则意味着必须提供远比一只蜂王所需营养资源多得多的东西。作出抚育一只新蜂王的决定，等于承担起建造一个蜂群的职责。 一只新蜂王本身的花费微不足道，仅仅是它所吃的少量王浆和其他食物。 然而它所包括的大部分花费，是制造数以千计的工蜂。 蜂群离开后，蜂巢也就失去了这些工蜂。

对于性别比中那种明显异常的雄性过多现象，这几乎肯定是个确切的解释。 对于我在前面谈到的性别比，这是一个极端的例子。 费舍尔的规则声称对雄性和雌性的支出量必定相等，而不是雄性与雌性个体数目相等。 为一只新蜂王所支付的花费，也包括对工蜂的庞大支出，这些工蜂如果没有新蜂王本来不会离开这蜂巢。 这很像我们对象海豹群体数量的假设。 假设养育一种性别的花费是饲养另一种性别的两倍，得到的结果是，这一种性别的数量是另一种性别的一半。 对于蜜蜂来说，一只蜂王的花费是雄蜂的数百乃至数千倍，因为它承担着新蜂群所有工蜂的花费。 因此，雄蜂数目比蜂王多数百倍。 这个奇怪的故事还有一个极具讽刺性的结尾：令人不可思议的是，当蜂群离去时，它裹走的是老蜂王，而不是新蜂王。 然而无论如何，其经济意义是一样的。 制造一个新蜂王的决定仍然担负着新蜂群携同老蜂王迁居新址的费用。

为了圆满结束我们关于性别比的论述，让我们回到开始时的“后宫之谜”：一大群光棍象海豹消耗着近一半(甚至比一半还多)的食物

资源，却永远不会生育，也做不出任何有用的事，这是一种极其浪费的安排。很显然，在这里，全体成员的经济利益没有得到最大限度的发挥。怎么回事呢？让我们再来一次，把你自己摆到决策者的位置上——比如一个母亲，她试着“决定”，为了得到最多的孙子孙女，是要个儿子呢，还是要个女儿。乍看上去，她的决定是不公平的：“我应该要个儿子呢，还是要个女儿？儿子可能成为光棍而根本不可能给我生任何孙子，女儿可能成为后宫里的妻妾，给我生下数量不少的外孙。”对这位未来母亲的适当的回答是：“但是，如果你要个儿子，他将来可能拥有许多妻妾，这种情况下，他就会为你带来远比靠女儿所能得到的多得多的孙子孙女。”为了简单明了起见，假设所有雌性都以一个平均值来生育，而每10个雄性中则有9个根本不能生育，另1个雄性独占了所有雌性。如果你有1个女儿，你可以指望得到平均数量的外孙外孙女。如果你有1个儿子，那么你就有90%的可能性连1个孙子孙女都得不到，你又有10%的可能性，得到10倍于平均数的孙子孙女。你期望从儿子那里得到的孙子孙女的平均数，与你期望从女儿那里得到的外孙外孙女的平均数是一样的。尽管物种水平上的经济理由要求雌性占多数，自然选择仍然偏爱50∶50的性别比。费舍尔法则仍然适用。

我用动物个体的“决定”介绍了这些推理，但是要重复一句，这只是速写。事情的本源是，在基因库中，能最大限度地增多子孙的基因变得越来越多了。这个世界充满了经过世世代代成功地流传至今的基因。若不是靠影响个体在获得最大数量后代方面的“决定”，基因怎能成功地穿越世代到达今天？费舍尔的性别理论告诉我们，实现这个最大数量，这同最大限度地提高物种(或全体成员)的经济利益是非常不同的。这里也有一个实用功能，但它与出现在我

们人类经济思想中的实用功能相去甚远。

关于后宫经济的浪费，可以总结如下：雄性们没有致力于有用的工作，而是把能量和体力浪费在互相之间的争斗上。即使我们用明显的达尔文主义的方式来定义“有用”这个词，例如以抚养孩子作为有用的工作，情况也是如此。如果雄性都把精力转用于有用的事情，而不是浪费在互相争斗上，整个物种就能花费较少的力气、消费较少的食物，而抚养更多的孩子。

研究工作效率的专家会被象海豹世界的情形惊得目瞪口呆。下面是个类似的情形。在一个车间里只有10台车床，因此只需不超过10个工人，车间就可以运转。管理部门却决定雇用100个工人，而不仅仅是10个工人。每天，这100名工人都来上班并领取工资，然后把一天的时间都花在为抢占车床而打架上。在这些车床上造出了一些产品，但是不会多于10个人造出的产品数，可能会少一些，因为这100人都在忙着打架，这些车床并未有效地利用起来。效率专家不会有任何迟疑。90%的工人是多余的，应该正式宣布这一点并将多余工人解雇。

雄性动物们不仅仅在肉体搏斗上浪费它们的精力——在这里，人们又一次采用人类经济学家或效率专家的观点来定义“浪费”这个词。许多动物还有“选美竞赛”。这给我们带来了另一种实用功能，一种虽然没有直接的经济意义，却有可供我们人类欣赏的功能——审美。乍看上去，似乎上帝的实用功能有时是沿着竞选世界小姐(谢天谢地它现在已不再时髦)的路线展现的，不过是雄性们在展台上炫耀自己。在鸟(比如松鸡和流苏鹬)的“表演场”，这种情形看得最清楚。一个“表演场”是一小块地，传统上是雄鸟在这里列队向雌鸟炫耀自己。雌鸟们访问表演场，观看数只雄鸟在场地上作气

宇轩昂的表演，然后从中选出雄鸟与之交配。在有“表演欲”的动物中，雄鸟通常都有稀奇古怪的装饰；在作展示时，它们跳跃、点头，还发出奇怪的声音，极令异性瞩目。刚才我用“稀奇古怪”这个词形容雄鸟的“装饰”，当然包含着主观的价值判断；雌松鸡们大概不会认为一本正经作表演的雄松鸡那趾高气扬的舞姿、那低沉压抑的声音是稀奇古怪的，这就行了。某些种类的雌鸟们的审美观念与我们碰巧一致，比如孔雀或天堂鸟。

夜莺的歌声，野鸡的长尾，萤火虫的闪光，还有热带鱼身上的彩虹鳞，都将美升华到最高水平，但是，这不是——或者说这仅仅是偶然——给人类带来欢娱的美。如果我们喜欢这些，那是一份额外的收益，那是个副产品。那些使雄性对雌性具有吸引力的基因，很自然地发觉它们自己沿着数字之河顺流而下，从历史走向未来。只有一个实用功能才令这些美丽有意义，这个实用功能就是解释象海豹性别比的同一个实用功能；是解释猎豹与羚羊之间表面上无益的速度之争的同一实用功能；是解释杜鹃和寄生虫，眼睛、耳朵和气管，不育的工蚁和生育力极强的蚁后，等等现象的同一实用功能。这伟大的万能的“实用功能”，数量在生物世界每个角落被孜孜不倦地扩展到最大的这个功能，在每事每物中，都是DNA的生存；你试图去解释的一切现象都是由它造成的。

孔雀华丽的羽毛成了它沉重的负担，使它很不方便，严重地妨碍它去做有用的事，即使它愿意做也不行，总的说，它们并不愿意做。雄性鸣禽把大量的时间和精力用在歌唱上。这肯定会给它们带来危害，不仅是因为这歌声会引来捕猎者，还因为这消耗了精力，浪费掉本可用于恢复精力的时间。有一个专攻鹪鹩生态学的学生曾经宣布，有一只野生雄鹪鹩确确实实是唱死的。任何将本物种的长期福

利放在心上的实用功能，甚至只是将某个特定雄性个体的长期生存放在心上的实用功能，都会减少唱歌的时间，减少炫耀的时间，减少在雄性中互相争斗的时间。然而，因为DNA的生存被最大限度扩展了，所以没有什么东西能阻止那些除了使雄性在雌性眼中显得漂亮之外别无所长的DNA传播。“漂亮”本身并不是一种绝对的优点，但是如果某些基因确实给予一个物种的雄性某些素质，这物种的雌性又觉得它有吸引力，那么这些基因就会生存下去，不管它们自己愿意不愿意。

为什么森林里的树都那么高？很简单，为了超过竞争对手。一个“合理的”实用功能会努力使它们长得不那么高。每棵树仍能得到等量的日光，而用于粗大树干和结实的支撑根基的支出却要少得多。但是，如果它们都很矮，自然选择就忍不住要去偏爱一棵长得略高些的变异个体。赌注已经增加，其他赌徒不得不跟进。没有什么力量能阻止赌博逐步升级，直到所有的树都长到荒谬而浪费的高度。说它荒谬和浪费，只是从有理性的经济计划者的观点看；他们考虑的是最大限度地提高效率。但是一旦你理解了真正的实用功能——基因在努力使它们自己的生存达到最大限度，你就会明白它是合理的。类似的例子不胜枚举。在鸡尾酒会上，你大声说话，声音嘶哑了，原因就在于每一个人都在用最大的嗓门喊叫。只要宾客们达成一致意见，大家都低声讲话，那么他们就能听清对方的谈话，并且少用大嗓门，少消耗些精力。然而，除非设置警察，否则这个意见是不会生效的。总会有人自私地用稍大一点的声音讲话，破坏了这个意见，于是一个接一个，每个人都不得不随着提高声音。当每个人都竭力大喊大叫时，才能达到稳定平衡，这比从合理观点要求的声音要大得多。合作的约束一次又一次被它内部的不稳定性所破

坏。上帝的实用功能很少是为最大多数的最大利益服务的。上帝的实用功能总是在不协调的自私自利的争斗中背叛初衷。

人类有一种相当可爱的倾向，就是认为福利指的是集体福利，利益指的是社会利益、物种的未来福祉，甚至是生态系统的未来福祉。从对于自然选择的难题与意外事件的冥思苦想中，人们引申出了“上帝的实用功能”，糟糕的是它与这类乌托邦的空想并不一致。确实，有时候基因会由生物体在其自身水平上采取编制非自私的合作程序，甚至是自我牺牲的程序，来实现基因在自己水平上最大限度地增加自私的福利。但是，集体的福利总是一种偶然的结果，并不是一种原动力。这就是“自私的基因”的意思。

让我们从一件类似的事情开始，来看一看上帝的实用功能的另一个方面。达尔文主义心理学家尼古拉斯·汉弗莱(Nicholas Humphrey)曾“虚构”过亨利·福特一件很显眼的事情。“据说”，制造业效率的最高典范福特有一次——

> 委托他人对美国的废车堆放场做一次调查，让他们寻找T型福特车上有没有从未损坏的零件。调查员们回来以后报告说，几乎每一种零件都有损坏：车轴、刹车、活塞等等都发生了损坏。但是，有一个例外情况引起了他们的注意。在这些损坏的轿车里，所有的转向轴主销都还能用很多年，无一例外。福特以无情的逻辑做出结论，T型车的转向轴主销的质量超过了要求，命令以后生产的主销应该降一个等级。

也许你和我一样，不太清楚转向轴主销是个什么东西，但这不要

紧。它是汽车上用的某种零件。福特的无情断言是完全合乎逻辑的。另一种做法是，提高汽车其他零部件的质量，使它们都达到转向轴主销的水平。但是，如果那样做，他所制造的就不是T型福特车，而是罗尔斯·罗伊斯了。那可就不是这个故事的初衷了。罗尔斯·罗伊斯是很有名望的轿车，当然T型车也是，但它们的价位不同。问题的关键是，整车是以罗尔斯·罗伊斯标准制造的呢，还是以T型车标准制造的。如果你想制造一种“杂交车”，有些零件达到T型车质量，有些零件达到罗尔斯·罗伊斯的质量，那么你得到的是两者最糟糕的结合，因为一旦车里面最差的零件损坏了，整辆轿车就会被扔掉；花在高质量零件上的钱，则由于这些零件根本没有时间被用坏而简单地被浪费了。

把福特的经验用在活的躯体上比用在汽车上意义更大，因为汽车上的零部件在一定限度内是可以用备件来更换的。猴子和长臂猿在树上生活，总有掉下来摔断骨头的危险。假设我们对猴子尸体做一个调查，统计一下猴子体内主要骨头摔断的频率。假设每一根骨头都会在什么时候摔断，只有一个例外：腓骨(与胫骨平行)在任何猴子尸体里都没有被摔断的先例。亨利·福特的毫不犹豫的处方会是：重新设计腓骨，将它的标准降低一个等级，而这也正是自然选择所可能做的。于是产生了腓骨被降了级的突变个体，它们的生长规律要求将宝贵的钙从腓骨中转移，突变的个体可用节省下来的材料加厚体内的其他骨头，以达到“每一根骨头易被摔断的程度都相同”这个最终目的。或者，变异个体可以用节省下来的钙来制造更多的奶，以喂养更多的幼仔。从腓骨上可以安全地“削去”一些骨头，起码可以削到结实程度与略弱于腓骨的那根骨头一样。而另一种办法——罗尔斯·罗伊斯的办法——是要使其他的骨头都达到腓骨的水平，这

是难以达到的。

实际的计算并不这么简单，因为有些骨头比其他骨头更重要。我想，如果一只蜘蛛猴的脚后跟发生了骨折，那它比手臂骨折活下去要容易些，因此，我们不能简单地要求自然选择使所有的骨头都同样容易折断。但是，我们从亨利·福特的传说中学到的主要教训毫无疑问是正确的。对一种动物而言，身体中的某一部分好过了头的可能性是存在的，我们应该期望自然选择使这部分的质量降低，直到与身体其他部分的质量相平衡，而不是越过这个平衡点。更正确的说法是，自然选择应该偏爱均衡质量，从降低质量和提高质量这两个方向使身体里所有"零件"达到适当的平衡。

在考虑生命的两个相当独立的方面的平衡时，我们就特别容易评价这种平衡。比如，雄孔雀的生存与它在雌孔雀眼中的美貌之间的平衡。达尔文主义的理论告诉我们，所有生存的终极目的，都是为了传播基因，但这并不能阻止我们将身体分成这样一些部分(比如腿)，主要关系到个体的生存，以及那样一些部分(比如生殖器)，关系到生育。再如鹿角是用于与对手搏斗，而腿和生殖器等与对手的存在并不相干。许多昆虫对它们生命历程中一些根本不同的阶段加以严格划分。毛虫的任务就是取食和生长。蝴蝶就像它们所访问的花朵，其任务就是繁殖，它们并不生长，它们吸吮花蜜用作飞行时的燃料消耗掉。一只蝴蝶成功地生殖的时候，它传播的基因不仅是为了使之能成为有效地飞行与交配的蝴蝶，而且也是为了能成为有效地进食的毛虫。蜉蝣幼时为水下若虫，它们在水里进食，生长达3年之久后，它们羽化成为能飞的成年蜉蝣。成年的蜉蝣只生存几个小时。很多蜉蝣都被鱼吃掉了，即使不被吞食，它们也会很快死去，因为它们不会进食，甚至连内脏都没有(亨利·福特或许喜欢)。它们

的任务就是一直飞到发现一只配偶，然后，在交配，留下它们的基因——包括能在水下进食3年的有用若虫的基因——之后，它们就死去了。一只蜉蝣就像一棵经年累月成长起来的树，花开后仅经历辉煌的一天就死去了。成年蜉蝣就是那在生命结束而新生命开始之际短暂开放的花朵。

幼年鲑鱼沿着它出生的溪流顺流而下进入大海，在大海里进食、生长，度过它一生中大部分时光。当它成年时，它可能靠着嗅觉会找到它出生溪流的入海口，经历一次史诗般著名的旅行，跃上瀑布、跳过急流险滩，回到河源出生处。它在那里产卵，一个新的循环又开始了。在这一点上大西洋鲑鱼与太平洋鲑鱼之间存在一个典型的差异。大西洋鲑鱼在产卵之后，会回到海洋中去，它们还有可能再重复一次这个循环；而太平洋鲑鱼在产卵之后几天内就死去了。

一条典型的太平洋鲑鱼就像一只蜉蝣，但是在其生命历程中没有明显划分的若虫阶段与成虫阶段。回游时溯流而上需要付出如此巨大的努力，以至它不能做第二个循环。因此，自然选择偏向于这样的个体，它把每一克的资源都投入到重大战役——生殖中去。生产之后，任何剩余资源都是浪费，这就相当于T型福特轿车超过设计标准的转向轴主销。太平洋鲑鱼已经进化到在生产之后生存能力减弱至零，节省下来的资源被转移到鱼卵或鱼的精子中去了。大西洋鲑鱼被引向另外一条路线，也许是因为它们回游的河流比较短，而且这些河流发源于不太高的山，有时一些个体能够靠着剩余的资源成功地完成第二个循环。这些大西洋鲑鱼付出的代价，就是它们不能为产卵付出那么多的精力。在延续生命与生殖之间必须作出取舍，不同鲑鱼选择了不同的取舍。鲑鱼生命周期的一个特征，就是由回游导致精疲力尽所造成的不连续性。在一个生育季节与两个生育季节之

间不存在轻易的连续。承担第二个繁殖季节的任务，就会极大地削弱第一个繁殖季节的成功率。太平洋鲑鱼的进化朝着这样的方向前进，即毫不含糊地完成第一个繁殖季节的义务。结果，一个典型的个体在进行伟大的一次性产卵努力之后，随即就肯定会死去。

在每一种生物中都可以发现同样的取舍现象，但是通常不那么具有戏剧性。我们自己的死亡程序或许与鲑鱼有某些相似之处，但是不那么露骨与清晰。无疑，一个优生学家能够培育出一个特别长寿的人类种族。为了繁殖后代，你会选择这样一些个体，他们以牺牲自己的孩子为代价，把大部分资源都投入到自己身上：比如，这些个体的骨骼已加固厚实，很难折断，但是用于制造奶水的钙却所剩无几。如果你以牺牲下一代为代价娇养自己，那就很容易活得稍长些。优生学家能够这样精心养育，并将取舍法用于所希望的长寿方向。可是，大自然不会用这种方式来娇养谁，原因在于，对下一代吝啬的基因传不到未来。

大自然的实用功能从来都不是为了自身，而只是为了未来的繁殖才重视长寿。任何能生育一次以上的动物(像人类，而不像太平洋鲑鱼)都面临着在现有的儿女(或一窝小动物)与未来的儿女们之间作出取舍的问题。一只野兔将其全部精力和资源都倾注于第一窝小仔兔，它的第一窝小兔会非常强壮，但是将不会剩下什么资源来支持她生育第二窝幼仔了。第二窝、第三窝仔兔体内携带的、留些东西作储备的基因会在兔群中传播开去。这类基因显然没有扩展到太平洋鲑鱼群体中，因为在一个繁殖季节与两个繁殖季节之间实际存在的不连续性是那么不可逾越。

随着年龄的增长，“我们将于明年死去”的概率最初逐年下降，然后是一段稳定状态，最后又开始向上爬坡。在死亡率上升这段长

时间内发生了什么事情？ 这与太平洋鲑鱼的原理基本相同，但是延长到一段时期之内，而不像太平洋鲑鱼那样，在无节制地产卵之后，仓促而集中地大批死亡。 衰老的机制最初是由诺贝尔奖获得者、医学家彼得 · 梅达沃爵士(Sir Peter Medawar)于 20 世纪 50 年代初提出来的，以后，杰出的达尔文主义者 G · C · 威廉斯(G.C.Williams)和 W · D · 汉密尔顿(W.D.Hamilton)又对其基本思想作了许多修正和补充。

基本的论点是这样的：第一，正如我们在第一章中所看到的，任何遗传效应都是在生物的生命历程中某个特定时间内开启的。 许多基因在胚胎早期就打开了，但是其他一些基因(像亨廷顿氏舞蹈病的基因)则是直到中年之后才打开的。 第二，遗传效应的细节，包括它在何时打开，可以被其他基因所修改。 一个带有亨廷顿氏舞蹈病基因的人可能会死于这种病，然而这种病会使他在 40 岁上死去，还是到 55 岁逝去，可能受到其他基因的影响。 也就是说，通过“修正基因”的选择，特定基因的作用时间可能在进化过程中推迟，也可能被提前。

在 35 岁到 55 岁之间开启的基因(像亨廷顿氏舞蹈病基因)有足够多的机会在杀死它的携带者之前被传给下一代。 但是，如果这种基因在 20 岁时打开，它就只能被那些在很年轻时就生育的人传给后代，因此它就很容易被筛选掉。 如果它在 10 岁时打开，那么一般来说它就不会被传下去。 自然选择会偏爱那些使亨廷顿氏舞蹈病基因延迟启动的“修正基因”。 根据梅达沃-威廉斯的理论，这就是为什么这种基因要等到中年以后才开启的准确原因。 从前它可能曾经是一个早熟的基因，但是自然选择促使它将致死效应推迟到中年。 毫无疑问，仍有少许的自然选择压力会把致死效应推至老年；然而，这种压力很轻微，因为很少有人在生育并把这基因传给下一代之前

死去。

亨廷顿氏舞蹈病基因是致死基因的一个特别明显的例子。还有很多基因本身并没有致死效应，却具有提高因其他原因死亡的概率的效应，这种基因叫做亚致死基因。再者，它们的开启时间可能受到修正基因的影响，因而被自然选择推迟或提前。梅达沃认识到，老年人的衰弱可能表明致死和亚致死遗传效应的积累；这些效应在生命周期中被一再推迟，并且仅仅因为它们晚起作用，就得以悄悄通过生育网遗传给后代子孙。

现代美国达尔文主义者中的老前辈G·C·威廉斯于1957年给这个故事带来一个重要的转折。他回到了我们关于从经济角度进行取舍的观点上。为了理解这一点，我们需要再补充几个背景事实。通常，一种基因不只具有一种效应，并常常作用于身体上明显不同的部位。这种"多效应"不仅是个事实，而且很多都是基因对胚胎发育发挥的效应，而胚胎发育又是一个复杂的过程。所以，任何一个新的突变都很可能不仅有一种效应，而是有几种效应。尽管在这些效应中可能有一种是有益的，但是似乎不会有多于一种的有益效应。这是因为大多数突变效应都是坏的。除了这是个事实之外，从原理上还可以这么说：如果你开始制造一台复杂的装置——比如一台收音机——把它做得更差些比把它做得更好些，会有更多的方法。

每当自然选择因为某个基因在青年时的有益效应——比如说，让一个男性青年具有性吸引力——而偏爱该基因，就会有不利的一面出现：比如，在中老年时患上某种特殊的疾病。理论上，年龄效应是另外一回事，但是根据梅达沃的逻辑，自然选择不会因为同一基因在老年时表现出来的有益效应，而偏爱青年时的疾病。再者，我们可以再次引用有关修改基因的观点。一个基因有数种效应，每种效应

(好的效应和坏的效应)都会在后来的进化中改变其开启时间。根据梅达沃原理，基因的好效应都倾向于在生命早期呈现，而坏效应则倾向于延迟至后期才表现出来。另外，在某些情况中，早期效应和晚期效应之间会进行直接的交换。这在我们对鲑鱼的讨论中已经是不言而喻了。如果一种动物所消耗的资源数量是有限的，比如说，只够使身体强壮并且逃脱危险，早消耗这些资源的任何倾向都会比晚消耗它更受欢迎。消耗晚的动物更有可能在有机会耗尽它们的资源之前就已经由于别的原因而死去。我们在第一章中曾介绍过一种倒叙的方法。将梅达沃的基本观点用这种倒叙法来表示，每一个人都是从绵延不断的祖系传下的后裔，祖辈们在他们生命中某个时期都曾是年青的，但是他们中许多人却从未能活到老年。所以，我们继承下的就是那些年青的东西，而不必要继承那些衰老的东西。我们倾向于继承那些使我们在出生之后很久才死亡的基因，而不倾向于继承那些使我们在出生后早早夭折的基因。

让我们回到本章开头的悲观论点，当实用功能——被最大限度扩大的功能——是 DNA 的生存时，这并不是获得幸福的妙方。只要 DNA 能够传下去，在其传播过程中，不管是谁或是什么受到损害都无关紧要。对于达尔文的姬蜂基因来说，毛虫最好是活的，被吃掉时仍是新鲜的，至于这样会使毛虫感到怎样的痛苦，则是无所谓的。基因不在乎痛苦，因为它们不在乎任何事情。

如果大自然是仁慈的，那么它至少会作出使毛虫被从内部活活吃掉之前先行麻醉这样一个小小的让步。但是大自然既非仁慈，也非不仁慈。它既不反对遭受痛苦，也不赞同遭受痛苦。除非影响到 DNA 的生存，否则大自然对这样或那样的痛苦根本不感兴趣。你可以想像一种基因，比如说，当瞪羚在遭到致命一咬时，这种基因能使

它们平静下来，这是很容易做到的。这种基因是否会得到自然选择的偏爱呢？除非使瞪羚平静的行动能提高该基因传播给未来世世代代的机会。很难说清楚为什么必须是这样，我们可以因此猜想，瞪羚在被追捕至死亡时承受着可怕的痛苦和恐怖——就像它们大多数终将要承受的那样。自然界中每年遭受磨难的动物，总数大大超过了任何公平的期望值。就在此刻我构思这句话的时间内，数千只动物正在被生吞活剥；其他一些动物则正在惊恐地呜咽着逃命；还有一些正被使人焦躁的寄生虫从内部缓慢地吃掉；数以千计的各种动物因为饥饿，干渴和疾病而正在死去。肯定是这么回事。如果时间充裕，这一事实会自动导致动物群体增长，直至饥饿和苦难的自然状态重现。

神学家们为“邪恶问题”以及相关的“受难问题”而烦恼不已。在我最初写这一段的那天，英国的报纸全都报道了一辆大轿车并无明显原因地撞车的可怕事件，车上满载着一所罗马天主教学校的学生。所有孩子无一逃生。在伦敦《星期日电讯报》上，一位作者这样说：“你怎能相信充满爱心的、全能的上帝能允许发生这样的悲剧？”牧师们已经不是第一次为了这种神学问题而突然大发作了。这篇文章继续引用了一位教士的回答：“对这一问题的简单回答是，我们不知道为什么非要有一个上帝来允许这些可怕事件发生。但是这一可怕的撞车事件向基督徒们确认了这样一个事实，那就是，我们是生活在一个有真正价值的世界里：正面的和反面的。如果宇宙中仅存在电子，就不会有邪恶和痛苦问题了。”

相反，如果宇宙中仅存在电子和自私基因，像撞车这种毫无意义的悲剧就恰好是我们所能期望的，还有就是同样毫无意义的好运气。这样的一个宇宙将既无邪恶的意图也无好的意图。它表明没有任何

意图。在一个充满盲目的物质力量和基因复制品的宇宙中，有些人会受到伤害，另一些人会撞上好运，而你不会发现有道理可言，也不会发现有公正可言。我们所看到的宇宙具有我们所能期望的(如果有的话)明确的特征，本质上，它既无计划，也无目的；既无邪恶，也无正义；除了毫无怜悯之心的冷淡和盲目之外一无所有。就像那位不幸的诗人 A·E·休斯曼(A.E.Housman)所描写的那样：

大自然，

　　无心无智的大自然，

将既不会知晓，

　　也不会挂牵。

DNA 既不会知晓，也不会挂牵。DNA 就是 DNA。而我们随着它的音乐跳舞。

第五章　生命的复制大爆炸*

大多数恒星——我们的太阳就是一颗典型的恒星——已经稳定地燃烧了几十亿年。在星系的某处，有时会有一颗恒星在没有什么明显预兆的情况下，亮度突然增大，成为非常少见的超新星。在大约数星期的时间里，超新星的亮度会达到原来的数十亿倍，然后，它就熄灭了，仅剩下暗淡的残骸。在一颗恒星变成超新星，并处在闪耀高潮的那几天中，它所放射出的能量，比过去上亿年中作为一颗普通恒星放射能量的总和还要多。如果我们的太阳变成了超新星，那么整个太阳系顷刻间就会烟消云散不复存在。所幸的是，这种事不大容易发生。在我们这个拥有数十亿颗恒星的银河系中，天文学家们迄今只记录到 3 次超新星爆发，分别发生于 1054 年、1572 年和 1604 年。蟹状星云就是 1054 年超新星爆发事件留下的残余。这颗超新

* 原文为 The replication bomb，意为“复制炸弹”或“复制爆炸”，为便于读者理解，本章行文中根据上下文，部分译作“生命的复制大爆炸”——译者注

星是中国天文学家发现并记录下来的。当然，我这里所说的“1054年事件”，指的是有关这一事件的信息于1054年到达地球，而事件本身发生的时间则要比这早6 000年。这颗超新星所放射的强光的前锋于1054年到达地球。自1604年以后，只观察到发生在其他星系的超新星。

还有另外一类恒星能够承受的爆炸。这种爆炸，不是形成超新星，而是产生信息。这种爆炸比超新星爆发缓慢得多，而形成的时间之长，是超新星所无法比拟的。我们可以把它称为“信息爆炸”或“复制爆炸”。为什么叫做“复制爆炸”，下面我们将会讲到。在形成信息爆炸的最初几十亿年中，只有近邻，才有可能探测到“复制爆炸”。最终，这隐约的爆炸证据泄漏到了宇宙中较远的地方，并且变得(至少是有可能)可以从遥远处探测到它。我们尚不知道这种爆炸将怎样结束。也许，最终它会像超新星那样逐渐消失，但首先我们还不知道这种爆炸会达到什么程度。或许，最终的结局是一场剧烈的、自我毁灭性的大灾难；或许，最终的结局是比较和缓的、重复的物质喷射，物质沿着预定的轨道，而不是简单的弹道轨道，离开星球，进入遥远的宇宙空间，在那里，它也许会影响其他星系发生同样倾向的爆炸。

我们对宇宙中“复制爆炸”了解得如此之少，是因为迄今我们仅仅看到一个例子；对任何现象，仅有一个例子不足以作为归纳性判据。我们这一例子，其历史仍在发展之中。至今它走过了30～40亿年的历史，才刚刚开始向紧邻恒星泄漏。我们谈及的这个恒星是一颗黄色的主序矮星，接近我们银河系的边缘，在银河系一条旋涡臂附近。我们把它称为太阳。爆炸实际上起源于一颗在近日轨道上运行的行星，但引起爆炸的能量全部来自太阳。当然，这颗行星就是地

球，而这场历时40亿年的爆炸(或者称为“复制爆炸”)，就是生命的复制大爆炸。我们人类是复制爆炸的一个极端重要的具体表现形式，因为正是通过我们——通过我们的大脑，我们用符号记述的文化，以及我们的技术——这爆炸才能向着下一个阶段发展，回荡于宇宙的深处。

我在前面说过，我们这颗复制炸弹，是宇宙中我们迄今已知的独一无二的复制炸弹，但这并不意味着这类爆炸比超新星少。不可否认，在我们这个星系中已经观察到了3颗超新星，那是因为超新星释放出的能量极大，从非常遥远的距离以外也很容易看到它。如果不是在几十年前，人类发射的无线电波开始从我们这颗行星飞向宇宙，那么，即使在离我们很近的其他行星上，也观察不到我们的生命爆炸。直到不久以前，我们的生命复制爆炸的惟一明显的具体表现形式也许就是大堡礁了。

一颗超新星就是一次巨大的、突然的爆炸。任何爆炸都是由触发事件开始的：某种量超过临界值，于是事情上升到失去控制，导致远远超出触发事件的结果。复制爆炸的触发事件，便是自发地产生能自我复制而又可变的独立体。自我复制之所以是一种潜在的爆炸现象，其理由与任何爆炸事件相同：指数式增长。你拥有的资金越多，你获得的利润就越大。你一旦有了一件自我复制的物品，你很快就会有两件。随后每件又各自复制一件，你就有了4件。再后就是8，16，32，64……这样的复制仅需经过30代，你就会拥有超过10亿件的复制品。经过50代，便会有100万亿件。经过200代复制，则会有天文数字(10^{60})的复制品。这是理论上的推算。现实上，它永不可能达到如此庞大的数量，因为这一数量比宇宙中原子的总数还要大。这一自我“拷贝”的爆炸过程，远在它们自由倍增到200代

之前就受到了限制。

关于启动了地球上这一进程的复制事件，我们还没有找到直接的证据。我们只能推断，这事件肯定发生过，因为我们自己就是这聚合在一起的爆炸的一部分。我们虽不能确切地知道最初的、启动自我复制的关键事件是什么，但是我们能够推断它必定是哪一类事件。它是从化学事件开始的。

化学是在所有恒星内部和所有行星上演出的剧本。在化学中扮演角色的演员是原子和分子。即使是最稀有的原子，用我们习惯的计数标准来衡量，其数目也是极其巨大的。伊萨克·阿西莫夫(Isaac Asimov)曾经算出，整个北美洲和南美洲16公里深的地层内砹215原子的数目“仅有1万亿个”。化学的基本单元总是在改变合作伙伴，形成不断变换的总数巨大的较大单位——分子。然而无论数目多么巨大，相同种类的分子总是相同的；这跟同一物种里的各个动物，或者著名工匠制作的每一支小提琴不一样，它们之间总有不同之处。原子运动的化学规律，使某些分子在世界上越来越多；另一些分子变得越来越稀少。很自然，生物学家就把那些在群体中越来越多的分子称为“成功的”分子。然而仓促接受这种说法是无益的。成功，就其字面意义而言，是一种在我们这个故事的后期才能达到的特性。

那么，导致复制爆炸的重大关键事件又是什么？我已经说过，它就是自我复制实体的出现；我们也可以把“自我复制实体”称为遗传现象的创造过程。我们可以把这个过程称为“同类生同类”，即“龙生龙，凤生凤”。这不是通常分子显示的现象。水分子虽然产生于庞大的群体中，却未表现出任何接近真正遗传的特性。从表面上看，你可能认为它们有这种特性。氢(H)和氧(O)经燃烧生成水，水

分子(H_2O)的群体就增大了。用电解的方法把水分子分解成氢气和氧气，水分子的群体又会变小。然而，尽管这里面有水分子群体的动态变化，但它却没有遗传特性。真正的遗传，需要一个起码的条件，那就是要有两种截然不同的H_2O分子，它们都能产生与它们自己一样的“复制品”。

分子有时出现两种镜像体。葡萄糖分子有两种，都由同样的原子，以同样的方式，组合成葡萄糖分子，惟一的区别是它们互为镜像。其他糖分子，以及许多其他分子(包括非常重要的氨基酸分子)也是这样。或许，对于化学遗传来说，这里有“龙生龙，凤生凤”的机会。右旋分子能否产生出下一代右旋分子，左旋分子能否生出下一代左旋分子呢？首先，让我们了解一些有关镜像分子的背景情况。这一现象最早是在19世纪由伟大的法国科学家巴斯德(Louis Pasteur)发现的。巴斯德在观察酒石酸盐晶体(葡萄酒中的一种非常重要的物质)时取得了这一发现。一块晶体就像是一件固体的建筑，大到可用肉眼看见，人们有时把它做成项链佩戴。相同的原子(或分子)一个挨一个摞起来形成一块固体，这就是晶体。这些原子(或分子)并不是胡乱摞在一起，而是排列成规则的几何阵列，就像身材一致的卫兵整齐划一的队列。那些已经成为晶体一部分的分子，就成了新增加分子的“模板”；新的分子从水溶液中析出，准确地嵌入晶体。这样，整个晶体按照一个精确的几何晶格生长。这就是为什么食盐的晶体是正六面体，而钻石晶体是四面体。当任何一种形状成为建造另一个像它自己一样的形状的模板时，我们就有了可能自我复制的微弱迹象。

现在，让我们回到巴斯德的酒石酸盐上来。巴斯德注意到，同一份酒石酸盐水溶液中出现了两种不同的晶体。这两种晶体除了互

为镜像之外完全一样。他很费劲地把这两种晶体分成两堆。再次将它们分别溶解，他就得到了两种酒石酸盐溶液。尽管这两种溶液大部分特性都相同，巴斯德还是发现它们会使偏振光向相反方向旋转。这两种溶液中，一种会使偏振光逆时针旋转，另一种使偏振光顺时针旋转，因此这两类分子通常被分别称为左旋分子与右旋分子。你会想到，如果这两种溶液再次结晶，每种液体产生的纯晶体会是另一种纯晶体的镜像。

镜像分子互相之间确实不同，这就像左脚的鞋子与右脚的鞋子不同一样，无论你怎样尝试，都不可能把它们互相替换。巴斯德原来的溶液是两类分子的混合物，在结晶的时候，这两类分子执意各自与它们的同类排列在一起。一个独立体中存在两个(或更多)截然不同的类型是存在真正遗传的必要条件，但这还不够。晶体之间要实现真正的遗传，左旋和右旋晶体在达到某个临界大小的时候，就应当一分为二，而每一半又成为生长的模板，再生长到临界大小。在这些条件之下，我们确实会看到两个增长中的对立的晶体群体。我们也许真的应该说在晶体群中“成功”了，因为这两类晶体都在争夺相同的原子组分，其中一类晶体可能以牺牲对手为代价，凭借善于自我复制而变得数量大得多。遗憾的是，已知的绝大多数分子并不具有这种突出的遗传特性。

我为什么说“遗憾”呢?

出于医学上的目的，化学家们想制造全部都是左旋的分子，他们甚至恨不得能“繁育”出这类分子来。但是，就分子所起的形成其他分子的模板作用来说，这些分子通常是成为其镜像分子的模板，而不是左旋分子“发育”出左旋分子，右旋分子“发育”出右旋分子。这就使问题复杂化了，因为如果你是以左旋的形式开始，最终你会得

到一个左旋分子与右旋分子各占一半的混合体。这一领域的化学家们正试图哄骗分子“生育”同一旋转方向的子代分子。然而，这是一个极难实现的把戏。

实际上，这个把戏的某种形式(尽管它可能并未涉及左旋右旋这种事)在40亿年前就自然地和自发地实现过。那时，这个世界还刚诞生，转变为生命和信息的大爆炸才刚刚开始。然而，在大爆炸能够顺利进展之前，还需要有比简单的遗传更多的东西。即使左旋分子和右旋分子都显示出真正的遗传特征，它们之间的竞争也不会产生什么令人非常感兴趣的结果，因为只有它们两类。比如，一旦左旋分子赢得了竞争的胜利，这件事情也就结束了。不会有更多的进展了。

较大的分子能够在分子的不同部位上表现出旋性。例如，禽用抗菌素莫能霉素(monensin)有 17 个不对称的中心。这 17 个中心，都各有一个左旋构型和一个右旋构型。2 的 17 次幂等于 131 072，因此，这种分子就有 131 072 个不同的分子异构体。如果这 131 072 个异构体都拥有真正的遗传特性，并且每种构型只产生本类型的分子，那么就会出现错综复杂的竞争，因为这 131 072 个构型中最成功的成员在连续各代分子群体的数量统计中会逐步表现出自己的优势。但是，即使如此，这也不过是一种有限的遗传，因为虽然 131 072 是个大数目，却仍然是个有限的数字。对于名副其实的复制爆炸来说，遗传是必需的；无限数量，即无尽的种类，也是必要的条件。

关于镜像遗传的问题，我们已经以莫能霉素为例进行了讨论。然而，左旋与右旋的差别，并不是惟一可能用于遗传复制的差异。美国麻省理工学院的化学家朱利叶斯·雷贝克(Julius Rebek)和他的同事们对产生自我复制分子的问题进行了认真的研究。他们所使用的

不是镜像变构体。雷贝克等人采用两种小分子，这两种小分子到底叫什么名字无关紧要，我们姑且把它们称为A和B。将A和B混合于溶液之中，它们互相结合形成了第三种化合物C。每一个C分子的作用，就像是一个模板(或模具)。A分子和B分子在溶液中自由漂浮运动，发觉自己塞进了“模子”里面。一个A和一个B挤撞着落入模子里的某个位置上，从而使它们准确地排列并联结在一起，形成一个新的C分子，同前一个C分子一模一样。这些C分子不是紧紧靠在一起形成晶体，而是相互分离的。现在，两个C分子都成了产生新C分子的模板，于是C分子的群体呈指数增长。

至此，这个系统并未表现出真正的遗传特性，但它记下了结果。各种形式的B分子都与A分子相结合，形成自己的一类C分子变构体。这样，我们就会有各类C分子：C1、C2、C3，等等。每一类C分子变构体都是形成其同类C分子的模板。因此，C分子群体是不均质的。此外，不同类型的C分子在制造子代分子方面的效率是不同的。因此，在C分子群体中存在着各种C分子变构体之间的竞争。然而更妙的是，紫外辐射能诱导C分子发生“自发性突变”。新的突变型是“真正繁育的”，它产生与它相像的子代分子。令人满意的是，新的突变型在竞争中战胜其母型，并很快占满整个试管，而这试管是这些母型分子的生存之地。A、B、C综合体并不是惟一具有这种行为的分子组。还有D、E和F，这是一个可资比较的三元组。雷贝克的研究组甚至能使A、B、C综合体和D、E、F综合体的成分杂交，形成能自我复制的“杂交体”。

在自然界中我们所知道的真正自我复制的分子——DNA和RNA——总的来说更富有变异潜力。如果说雷贝克的复制体是一条只有两节的短链，那么DNA分子就是一条无限长的长链：这长链有

千百节，每节又有4种类型；并且，当一段特定的DNA作为形成新DNA分子的模板时，每个链节又各自成为另一种特定类型链节的模板。这4个单位称为碱基，它们是4种化合物：腺嘌呤、胸腺嘧啶、胞嘧啶和鸟嘌呤，分别简写为A、T、C和G。A总是作为T的模板，反之T总是A的模板；G总是作为C的模板，反之C总是G的模板。任何想像得到的A、T、C和G的排列都可能实现，并且能够忠实地复制下来。另外，由于DNA链的长度是不确定的，所以，能有的变异范围实际上是无限的。对信息爆炸来说，这是一个潜在的配方；而信息爆炸的交混回响可以从这行星家园直达每个恒星。

我们太阳系的复制爆炸，自它开始至今40亿年中，大部分时间它的影响限制在它自己的星球上。只是在最近100万年里，才出现了一个能发明无线电技术的神经系统。并且，仅仅是在最近几十年里，这个神经系统才实际上开发了无线电技术。现在，携带着丰富信息的无线电波正以光速从这颗行星向遥远的宇宙空间飞去。

我所以说"信息丰富"，是因为已有许多无线电波在宇宙中传播。恒星发出可见光频率的辐射，这个我们已经知道；恒星也发射无线电频率的辐射。原始大爆炸留下的背景噪声仍然存在，那是它对时空的洗礼。但是这些无线电波并未组成有意义的形式，它还算不上是"信息丰富"。在半人马比邻星座的一颗行星上的射电天文学家会与地球上的射电天文学家一样，探测到这种背景噪声，但是他们同时会注意到，从太阳这颗恒星的方向射来了形式更为复杂的无线电波。他们可能不会把这种形式看成是4年前电视节目信号的混合物，但是他们会认为，与通常的背景噪声相比，从太阳方向传来的无线电波，形式更复杂、信息更丰富。半人马座上的射电天文学家们会兴奋而激动地报告，太阳发生了一次信息意义上的超新星大爆炸

(他们会猜测——但又不能肯定——它实际上是来自绕太阳运动的一颗行星)。

正如我们所知道的，就时间进程而言，生命复制爆炸比超新星爆发慢得多。我们自己的生命复制爆炸经历了几十亿年，才到达无线电的大门口：在这个时候，我们人类世界的一部分信息开始流向宇宙，并开始让与太阳系相邻的恒星系沐浴在我们发出的有意义的脉冲之中。如果我们的信息爆炸具有典型性，我们可以设想，信息爆炸要跨越一系列分级递进的“门槛”。在生命复制爆炸的历程中，“无线电门槛”和它前面的一道门槛——“语言门槛”，出现得比较晚。至少是在我们这颗行星上，这两个门槛之前是“神经细胞门槛”，再往前则是“多细胞门槛”。第一道门槛，也就是所有这些门槛的祖宗，叫做“复制者门槛”，它是导致整个大爆炸过程的触发事件。

“复制者”为何如此重要？偶然产生一个分子，它具有一种无伤大雅的特性，可以作为模板合成与自身一样的另一个分子，而它就是最终反响可能超出行星的大爆炸的触发者，这怎么可能呢？正如我们已经看到的，复制者的部分能力表现于它的指数式增长上。一个简单的例子便是所谓的“连锁信”。你收到一张邮寄来的明信片，上面写道：“将这张明信片上的内容，分别抄写在6张明信片上，并在一周之内分寄给你的6个朋友。如果你不这样做，你将被咒语所困，在一个月之内死于可怖的极度痛苦之中。”如果你是明智的，你会把这明信片扔到一边去。但是，有相当一部分人不那么明智，他们或者属于盲目参与，或者属于害怕恫吓，寄出了6份相同的东西给其他人。在这6人当中，可能有2个人被说服而又将明信片寄给其他6个人。假设平均说来，有1/3的收信人遵照要求写了明

信片，那么这明信片的流通量每周会增加一倍。理论上讲，这就意味着，1年之后邮寄明信片的数量将多达2的52次方，等于4 000万亿。这么多的明信片，足以把全世界的男人、女人和孩子都闷死。

指数式增长如果未被资源短缺所阻止，那么它准会在短得令人吃惊的时间内造成大得令人吃惊的结果。实际上，资源是有限的，还有其他因素也会对指数式增长起限制作用。在我们所设想的这个例子里，当人们第二次收到这种连锁信的时候，大概就会回避它了。在争夺资源的竞争中，“复制者”的某些变异体会应运而生，因为它们能有效地倍增。这些更为有效的“复制者”会逐渐淘汰那些效率低下的竞争对手。这些复制体无一是有意识地使自己倍增，理解这一点非常重要。但是将要发生的只是这样的情形：这个世界将充满更有效的复制者。

在连锁信这个例子里，可能在明信片上多写一些好听的词语会更有效。去掉诸如“如果你不照明信片上的话去做，你就会在一个月之内死于可怖的痛苦之中”等令人难以置信的语言，改成“我恳求您，为了拯救您和我的灵魂，请不要冒险；哪怕您对此信还有些许怀疑，也请您遵照信上的指示，把这封信寄给其他6个人。”像这样的“突变”，会一次又一次地发生，最终的结果是邮寄中的信件将是一个许多不同信息的大杂烩，它们都来自同一个原本，但是具体的措辞上有了不同变化，每一封信讨好奉承的程度和方式也不一样。比较成功的变异体会以牺牲其不太成功的对手为代价，求得成功率上升。“成功”是“流通频率”的简单同义词。“圣祖德的信”就是这种成功的一个著名例子；这封信已在全世界周转了好几次，在这个过程中数量可能在增加。在我写这本书的时候，弗蒙特大学奥利夫·古迪纳夫博士(Oliver Goodenough)给我寄来了那封信，我们就此为《自然》

杂志合写了一篇文章《思想病毒》。圣祖德的信是这样的：

有了爱一切都能办到

把这篇文章寄给你，是为了给你送去好运气。这篇东西起源于新英格兰。迄今它已绕地球邮寄了9次。这次该把好运送给你了。如果你在收到这封信4天之内再把它接着寄出去，你就会得到好运气。这不是开玩笑。你会从邮件中收到好运。不要寄钱。请把本文的抄件寄给你认为需要好运气的人。千万不要寄钱，因为信仰无价。不要留住此信。此信必须在96小时之内离开你。"远景研究计划"(A.R.P.)的一位官员乔·埃利奥特收到了4 000万美元。杰·韦尔奇的妻子在他接到信5天之后死了，因为他没把信寄出去。然而在妻子去世之前，韦尔奇收到了7.5万美元。请寄出此信的抄件，然后看4天之后会发生什么事。这封连锁信来自委内瑞拉，是索尔·安东尼·德格那斯写的，他是一位南美的传教士。信的副本必须周游全世界。你必须把这信抄20份，分别寄给你的朋友和有联系的人，几天之后，你就会得到一个惊喜。即使你不迷信，这也是爱。请注意以下事实：坎顿纳·迪亚斯于1903年接到了这封信，他叫秘书誊抄此信并寄了出去。几天之后，他彩票中奖得了200万美元。卡尔·多比特是一位办公室工作人员，他收到信之后，忘记应该在96小时内再把信寄出去。他失去了工作。后来，他找出这封信，抄了20份寄出。几天后，他又得到一份更好的工作。多兰·费尔柴尔德接到信后不相信它，把信扔到一边，结果他在9天以后死去。

1987年加利福尼亚州一位年轻妇女接到这封信时，信已经非常破旧，字迹模糊难辨。她心里想，要把它重新打字，然后再寄。于是把信放到一边，以后再办。她受到各种各样问题的折磨，包括花大笔钱去修车，皆因这封信在她手里停留96个小时没有寄出。后来她终于将信重新打字，履行了心中的承诺，她得到一辆新车。记住，不要寄钱。不要忽视它，它很灵验。

圣祖德

这份滑稽的文件上，满处是经过几次“突变”留下的痕迹。文字上漏洞百出，用词不当，并且已知还有其他版本在流行。我们的文章在《自然》杂志上发表以后，我又收到来自世界各地的若干个明显不同的版本。例如，其中有一封信中“A.R.P.官员”被写成了“R.A.F官员”。美国邮政局非常熟悉圣祖德的信。邮政局的报告说，这封信在邮政局有正式记录之前就回来了，而且有再次爆发流行的迹象。

信里列举了很多例子，照着做的人交了好运，拒绝照着做就大难临头；然而请注意，无论是照着做的人，还是拒绝的人，都不可能把自己的事写到信中去。那些交好运的人，在信件尚未出手之前还没遇到好事，而受害者则根本就没有把信寄出去，他们怎么可能把自己的遭遇写进去？我们可以推测，这些故事都是臆造出来的，从信中那些令人难以置信的内容人们就能想到这一点。连锁信与那些导致复制爆炸的自然复制者最主要的区别也就在这里。连锁信最初是由人发出的，措辞上的变化是由人的头脑产生的。然而，复制爆炸开始时却没有思想，没有创造力，也没有意图，那时只有化学。然

而，一旦自我复制的化学物质有机会生长，就会出现这样的自发趋势：比较成功的变异体以牺牲不成功的变异体为代价频繁增长。

正如在连锁信中出现的情况，在化学复制者中，成功就是周转频率的同义语。但是，那只是定义，差不多就是同义反复。成功是靠实际能力得到的，而实际能力意味着某种实实在在的东西、“同义反复”之外的任何东西。一个成功的具有复制能力的分子，由于有一定的化学特性，使其能够得以复制。尽管这些复制者自身的性质看起来是惊人一致，但是，实际上这意味着可以是几乎无穷无尽的变化。

DNA是如此一致，它完全由A、T、C、G这4个字母排列顺序的变化所组成。相比之下，为使自己得以复制，DNA序列所使用的方法则是千变万化，令人迷茫，这些情况我们在前面几章中已经见到了。让我们举几个例子：为河马提供更有力的心脏，为跳蚤提供更富弹性的腿，为雨燕提供更符合空气动力学的流线型翅膀，为鱼提供更有浮力的鳔。所有动物的器官和四肢，植物的根、叶和花，所有眼睛、大脑和思想，甚至连恐惧和希望，都是成功的DNA序列把它们自己送向未来的工具。工具本身千变万化，但是，相反地，制造这些工具的方法却极其单一，令人难以置信：仅仅是A、T、C、G的排列一次又一次地突变。

事情可能不总是那样。我们尚无证据说明在信息爆炸开始时种子的密码是用DNA字母写成的。确实，以DNA/蛋白质为基础的整个信息技术是如此复杂，化学家格雷厄姆·凯恩斯-史密斯(Graham Cairns-Smith)把它称为高技术，你简直难以想像它是偶然出现的，在它前面并没有某种其他自我复制体系作为先驱。这先驱也许是RNA；或者可能是某种像朱利叶斯·雷贝克的简单自我复制分子那样

的东西；或者它可能是某种非常不同的东西：我在《盲人钟表制作匠》一书中详细讨论过一个具有挑战性的可能，那就是凯恩斯-史密斯本人提出的看法(见他的《生命起源的7条线索》)。他说，无机泥土结晶体即是最初的复制者。我们也许永远不能确定这一点。

我们所能做的，就是猜测发生在宇宙中任何地方的任何行星上的复制大爆炸的年表。具体发生了什么事，则必须取决于当地的条件。在冰冷的液态氨的世界里，DNA/蛋白质系统不会有什么作为，然而或许另外的某种遗传与胚胎系统能够运转。不管怎么说，这些正是我想忽略的那种细节，因为我想集中讨论与行星无关的一般方法的若干原则。现在，我要较为系统地讨论任何行星上生命的复制爆炸都须经过的一系列门槛。这些门槛，有一部分很可能具有普遍性，另外一些则仅限于我们这个星球。至于确定哪些具有普遍性，哪些只有局部意义，并不是很容易的事情，而且，这本身就是个很有兴趣的问题。

第一道门槛，当然就是复制者门槛，也就是说，出现了某种自我“拷贝”的系统。在这种系统中，至少有一种尚不完善的、在复制过程中会出现偶然的随机错误的遗传变体。跨过第一道门槛之后，行星上就有了一个混合群体，在这个群体中，各种变异体互相争夺资源。资源将会短缺，或者在竞争达到白热化程度的时候将变得短缺。一些变体的复制品在争夺匮乏的资源时，会表现得相当成功，而其他变体的复制品就不那么成功。这样，现在我们就有了一种自然选择的基本形式。

在开始时，互相竞争的复制者中，成功与否纯粹取决于复制者自身的直接特性，例如，它们的形状与模板相符的程度。但是现在，经历许多世代的进化之后，我们来到第二道门槛，即“表现型门

槛”。复制者不是凭借自身的特性而存活，而是由于对某种东西产生因果效应而得以存活，我们将此称为表现型。在我们这颗行星上，表现型很容易被识别，如动植物身体上那些受基因能够影响的部分。这意味着身体的所有部分。可以把表现型视为能力的杠杆，成功的复制者靠它来控制通往下一代的道路。一般来说，或许可以给表现型下这样一个定义：它是复制者产生的结果，影响复制者成功的程度，而其自身不被复制。让我们举个例子，太平洋里一个岛上，有一种蜗牛，它有一个特殊的基因决定蜗牛壳是右螺旋还是左螺旋。DNA分子本身既非右旋，也非左旋，但它的表现型却有了螺旋方向。在为蜗牛身体提供保护这一点上，左旋壳与右旋壳的功效可能不同，它们并非都一样成功。蜗牛壳里的基因影响蜗牛壳的形状。能够造出成功蜗牛壳的基因，在数量上会超过不能造出成功蜗牛壳的基因。作为表现型，蜗牛壳不会生出下一代蜗牛壳。每一个蜗牛壳都是DNA制造的，是DNA产生了DNA。

DNA序列通过一系列复杂程度不同的中间事件来影响它们的表现型(比如蜗牛壳的螺旋方向)，这些内容都被归纳在胚胎学这个总的题目之下。在我们的行星上，这个链条的第一个环节，总是蛋白质分子的合成。蛋白质分子的每个细节，都由DNA中4个字母的排列次序通过著名的基因编码而精密确定。但是，这些细节很可能只有局部意义。一般说来，一颗行星将含有这样的复制者，它们的表现型(不管通过什么方法)会对复制者成功地进行复制产生有益的影响。一旦跨越了表现型门槛，复制者就以其代表——“表现型”——在这个世界上存活下去。在我们这个行星上，这些表现型通常被限制在基因所存在的躯体内。但是，并非一定如此。有一种学说，叫做“扩大的表现型”(我曾以此为题写过一本书)。它认为，复制者用以

实现其长期生存的表现型力量杠杆并不一定限制在复制者“自己”体内。基因能越出特定的躯体，自由地影响世界，包括影响其他躯体。

我不知道“表现型门槛”会达到怎样的广泛程度。我推测，在生命复制的大爆炸已经超越最初阶段的所有行星上，这个门槛应该已被跨过去了。并且，我还推测，列在我这个清单上的下一个门槛也是如此。这就是第三个门槛，即复制者门槛。这个门槛，在某些星球上可能先于、或者与表现型门槛同时被跨过。在早期，复制者很可能是独立的存在体，与裸露的复制者对手一起在基因之河的源头浮动着。但是，我们地球上的现代DNA/蛋白质信息一技术系统的特征，是基因不可能孤立地起作用。基因在其中发挥作用的那个化学世界，不是外部环境中的那种孤立无助的化学。诚然，外部环境构成了背景，但它是一种非常遥远的背景。DNA复制者赖以生存的最直接且至关重要的化学世界，是一个小得多的、比较集中的化学物质的“口袋”——细胞。在某种意义上讲，把细胞叫做化学物质的口袋会误导读者，因为很多细胞内部都有复杂的折叠膜结构，极重要的化学反应就在膜内、膜上，以及膜之间进行。化学微观世界——细胞——是由千百个基因联合组成的，而一些高等细胞是由数十万基因构成的。每一个基因都对环境有所贡献，所有基因都在开拓环境，以保证生存。基因是成组发挥作用的，在第一章中我们已从稍稍不同的角度看到了这一点。

在我们的行星上，最简单的自发DNA复制系统是细菌细胞，而为了制造所需的组分，它们至少要有数百个基因。非细菌的细胞称为真核细胞。我们自己的细胞，以及所有的动物、植物、真菌和原生动物的细胞，都是真核细胞。它们通常有数万个乃至数十万个基

因，所有的基因都成组地发挥作用。正如本书第二章所说，看来很可能真核细胞是从结对的 5 个左右的细菌细胞开始的。但是，这是一种更高级的群体工作方式，不属于我在这里要讲的内容。我要强调的事实是，所有的基因都在化学环境中起作用，而这个环境是由细胞里的基因联合构成的。

在我们领会了基因是以组群方式工作之后，显然立即会设想：现今的达尔文选择是在基因组竞争对手之间进行的，也就是假设选择已经上升到更高一级的组织。的确很诱人，但依我的观点来看，这种说法在更深层次上出现了错误。如下的说法要明确得多：达尔文选择仍然是在基因竞争对手之间进行，得宠的是那些在其他基因面前更为成功的基因；尽管这些其他基因在另一些基因面前是属于得宠的。这一点，我们已在第一章中讨论过了。我们曾提到，共享数字之河的同一条支流的基因逐渐变成了“好伙伴”。

当生物复制炸弹在一个行星上聚集力量时，必须跨越的下一个重要门槛，或许就是“多细胞门槛”，我把它称为第四道门槛。正如我们在前面说过的，在我们的身体中，每个细胞都是一个小小的局部化学物质之海，有一组基因沉浮其中。虽然它容纳了整个组，然而它却是由组内一个分组所制成的。细胞将自己一分为二，然后每一部分又长成整个细胞那么大，于是细胞数增加了一倍。在发生这种情况的时候，基因组的所有成员都增加了一倍。如果这两个细胞并未完全分离，而是互相间保持着接触，就能形成一个大的体系、大的建筑。这时，细胞扮演着砖块的角色。建造多细胞体系的能力是非常重要的，不管在我们的世界里，还是在其他的世界里都是如此。跨越多细胞门槛之后，表现型就出现了。表现型的外观和功能只有在比单个细胞大得多的尺度上才会被领会。鹿角或树叶，眼睛的晶

状体或蜗牛壳，等等，所有这些形状都是由细胞组成的，但是细胞的形状与它们完全不同。换句话说，多细胞器官的生长不同于晶体的生长。可以说，至少在我们的星球上，它们的生长更像一座建筑物的建设。建筑物的形状毕竟不像一块长得过大的砖。手有它独特的形状，但它并不是由手形细胞构成的；然而，如果表现型像晶体那样生长的话，手就会是由手型细胞构成的了。另外，像建筑物一样，多细胞器官之所以具有特定的形状和大小，是因为一层层的细胞(砖块)根据某些规则在一定的时间停止生长。从某种意义上说，细胞还必须知道相对于其他细胞它们自己应处在什么位置。肝细胞的表现，就好像它们知道自己是肝细胞一样，此外，它们还知道自己是处在肝叶的边缘，还是在中间部位。至于它们是怎样做到这一点的，这是个很难解答的问题，需要进一步研究。对这一问题的回答，可能只适合我们这个星球的局部情况，因此我就不在此作进一步的讨论了。在第一章里提到过这些情况。无论它们的细节如何，如同生命中其他方面的改进一样，肝细胞的生长方法也被完全相同的一般过程所优化了：成功基因的有规律生存是由其作用所决定——在这个事例中，“作用”是指对细胞与相邻细胞的关系发挥影响。

我要考虑的下一个主要的门槛，是高速信息处理门槛，我觉得它的意义可能已超越了一个具体的星球。在我们这个星球上，这第五道门槛是由一类特殊的细胞——神经元(或称神经细胞)——跨越的，因此，在地球上我们可以把这道门槛叫做神经系统门槛。不论在一颗行星上是怎样跨越这道门槛的，这个阶段都是极重要的。因为到了这一步，产生一个动作所需要的时间，要比基因靠化学作用直接运作所花时间短得多。捕猎者扑向它们的美餐，而猎物为求活命而躲闪，都是动用肌肉和神经系统采取行动和作出反应，其速度要比基因

最初构建器官胚胎的折叠速度不知快多少倍。当然，在其他星球，速度的绝对值和反应时间的长短会与地球的情形大不相同。但是，在任何星球上，只要由复制者构建的“装置”的反应时间，开始比复制者自己创立胚胎的时间快上若干数量级时，就意味着跨越了一道重要的门槛。我们尚不能肯定，其他星球上的那种“装置”是否一定与我们这个星球上的神经元和肌肉细胞这些东西相似。然而在那些星球，一旦跨越了类似我们星球的神经系统门槛，一系列重要的进展就会接踵而来，而复制爆炸将踏上冲出星球走向宇宙的旅程。

在这些结果中，“脑”作为数据处理单元的巨大集合体，能够处理被“感觉器官”所获取的复杂数据，并且能够把数据记录于“存储器”中。跨过神经元门槛之后，便出现更为复杂、更为神秘的结果——知觉意识，我把它称为第六个门槛：知觉门槛。在我们这个星球上，每隔多少时间出现一次这个门槛，我们还不清楚。有一些哲学家认为，知觉门槛与语言有决定性的密切关系；看来这道门槛只曾达到过一次，是被二足的猿类智人越过的。无论知觉是否需要语言，我们都应该认识到语言门槛是一道主要的门槛，即第七道门槛，是在某一颗星球上也许被越过了，也许还没有被越过的门槛。至于语言的一些细节，诸如它是通过声音，还是通过其他物质媒介来传播，这取决于当地的具体条件。

从这一点来看，语言是一个起联网作用的系统。借助这个系统，脑(这是我们这个星球上的称呼)之间可以友好地交换信息，从而使协作的技术得以发展。协作技术，从制造石器工具开始，经历了金属冶炼、有轮交通工具、蒸汽机时代等，直至今日的电子技术时代，其本身就具有大爆炸的许多特征。因此，协作技术的始创就完

全配得上“协作技术门槛”这个称呼，这是第八个门槛。的确，人类文化可能已经培育出一枚全新的复制炸弹，它具有一种新的自我复制机制(我在《自私的基因》一文中称为 meme)，在一条文化之河中增殖和进化。meme 炸弹可能正在发射，它与基因炸弹的轨迹相平行；是后者较早建立了脑/文化条件，使得发射成为可能。然而对我们这一章来说，这又是一个太大的题目。我必须回到行星上的大爆炸这个主题上去，我们还要注意到，一旦达到了“协作技术”这个阶段，发展到一定程度时，就很可能拥有向本行星以外施加影响的能力。于是，就跨过了第九道门槛——无线电门槛。那颗行星之外的观察者就有可能注意到，有一颗恒星系统新近发生爆炸，那是一颗复制炸弹。

正像我们已经看到的，外星上的观察者们最早收到的很可能是无线电波，那是这颗行星上进行无线电通信时泄漏到外空的电波。此后，复制炸弹的技术继承人可能自己就会主动地将注意力转向天外恒星。我们自己业已朝这个方向迈出了小小的一步：向宇宙空间发射专为外星智慧生命“特制”的信息。但是，你完全不了解外星智能的特性，又怎能为它特制信息呢？显然，这是很困难的，而且我们的努力很有可能已经被错误地接受了。

迄今为止，人类主要的精力都放在努力使其他星球上的观察者们注意到我们的存在，而不是向他们发出有实质内容的信息。这项任务与第一章中提到的那个假想的克里克森教授面临的任务同样艰巨。克里克森把要传达给外界的信息导入病毒的基因组中，我们可以采用与克里克森相同的策略，借助无线电传送信息，向地球以外的世界宣示我们的存在，这可能是一个很灵敏的方法。音乐或许是宣传我们这个物种的一个好办法，即使收到音乐信号者没有耳朵，他们也会以

他们自己的方式来理解它。 著名科学家兼作家刘易斯·托马斯(Lewis Thomas)曾建议，应该播放巴赫的作品，巴赫的全部作品，除了巴赫以外什么也不播放。 当然，托马斯自己也担心，他这种意见会被当作是一种自我吹嘘。 然而，同样地，完全是外星思想的人可能会错误地认为那音乐是脉冲星有节奏地发射出来的脉冲波。 脉冲星是一种每隔几秒钟(或更短时间)有规律地发出一个无线电波脉冲的恒星。1967年，剑桥大学的一个射电天文学小组首次发现脉冲星，一时间引起轰动，因为人们以为这些信号可能是外星人给我们发来的信号。然而人们很快就认识到，比较严谨的解释是：一颗以极高速度旋转的小恒星，不断地向外发射无线电扫描波束，就像灯塔工作时那样。 直至今天，我们还没有接到过从宇宙中传来的确实无疑的通信信号。

在无线电波之后，关于我们自己的大爆炸的下一步发展，我们所能想像到的就是实际的太空旅行了。 这就是第十道门槛：太空旅行门槛。 科幻小说家们一直梦想着人类的子代群体在其他行星上繁衍，或者幻想着他们的机器人在行星际增殖。 这些子代群体可以被视为自我复制信息新袋中的种苗；这些信息袋会以卫星复制炸弹，继续用爆炸的方式向外再次扩张，既传播基因，又传播meme。 如果这一幻想有朝一日成为现实，那么我们作如下想像也许不算太离谱：未来的某个马洛(Christopher Marlowe)* 重新描述数字之河，他说道：

“看哪，看哪，生命的洪流在太空中流淌！”

迄今为止，我们几乎还没有向外迈出第一步。 是的，我们已经登上月球；尽管这是个宏伟的成就，尽管月球不是一只葫芦，但是从

* 克里斯托弗·马洛(Christopher Marlowe)，英国戏剧家、诗人——译者注

我们终将与之取得联系的外星人的角度来看，月球距地球太近了，几乎算不上什么太空旅行。我们已经向太空深处发射了数目不多的几个无人宇宙飞行器，它们正沿着没有尽头的轨道向前飞行。其中之一，作为富于幻想的美国天文学家卡尔·萨根(Carl Sagen)突发灵感的结果，携带着专门设计来让任何偶然遇到它的外星智慧生物破译的信息。镌刻着信息的金属牌上还饰有制造者的形象——一男一女的裸体像。

这看来是带我们兜了一圈，回到本书开始时关于祖先的神话传说中去。然而，这对男女不是亚当和夏娃，他们优雅形体下面镌刻的信息，是比《创世记》中记载的任何东西都更有价值的、关于我们生命复制大爆炸的圣经。人们还设计了能得到普遍理解的图像语言：那个牌上记载着他们来自某颗恒星的第三颗行星，以及那颗恒星在星系中的精确坐标。作为我们人类向外星人递交的“国书”，这块牌上还刻着一些表示化学和数学基本原理的图像。如果这个密闭的小舱有幸偶然为外星智慧生物所获，他们会相信，创造出它的那种文明必定具有某种比原始部落的迷信更进步的东西。他们将会知道，在茫茫太空的那一边，很久以前就发生了另一起生命复制大爆炸，并且已经达到一种文明的高峰，值得与之对话。

哎，无奈这个小小密封舱在一个“秒差距”(相当于 3.26 光年)的距离内飞经另一个复制炸弹的可能性简直微乎其微。一些评论家认为，这件事的价值，仅仅是地球人在表达他们的激情而已。举起双手，做出和平姿态的一对男女裸体浮雕，被人们郑重其事地送入太空，走上了星际飞行的无尽旅途。其意图显然是将它作为我们人类第一次“出口”有关我们自己的复制大爆炸知识的成果。这件事对我们通常很狭隘的、微不足道的意识可能会有某种有益的作用；而对

于众所公认的，威廉·华兹华斯(William Wordsworth)* 的伟大意识来说，则可能会是剑桥大学三一学院里牛顿雕像的富有诗意效果的回声：

枕上遥望，

　　窗外一片星月之光。

依稀看见

　　那教堂前厅中央。

这里矗立着

　　牛顿的雕像。

严肃而平静

　　牛顿的面庞，

华美的标志，

　　为这大智慧

在陌生的思想之海

　　永远独自远航。

---

* 威廉·华兹华斯(William Wordsworth)，英国诗人——译者注